

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологии и геотехнологий

Кафедра «Горные машины и комплексы»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
А.В. Гилев
« ____ » _____ 2018 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04 «Горное дело»
(специальность)

21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»
(специализация)

**«Опытные исследования процесса индивидуального пылеподавления
карьерных автосамосвалов»**
тема

Руководитель

подпись, дата

Борисов Ф.И.

Выпускник

подпись, дата

Росьянский Д.С.

Консультанты:

Экономическая часть

подпись, дата

Бурменко А.Д.

Безопасность
жизнедеятельности

подпись, дата

Капличенко Н.М.

Нормоконтролер

подпись, дата

Борисов Ф.И.

Красноярск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ПЫЛЕГАЗОВАЯ АТМОСФЕРА В КАРЬЕРЕ.....	9
1.1. Источники пылеобразования и их характеристики.....	9
1.2. Существующие способы пылеподавления.....	18
1.2.1. Борьба с пылью при буровзрывных работах.....	19
1.2.2. Борьба с пылью при экскавации горной массы	23
1.2.3. Борьба с пылью при погрузочных и транспортных работах и складировании горной массы	26
1.2.4. Борьба с пылью на автодорогах	29
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПУТЕМ РАСПЫЛЕНИЯ ВОДЫ В ПЫЛЕГАЗОВОМ ОБЛАКЕ АВТОСАМОСВАЛ.....	32
2.1. Расчет показателей пылевого облака и распыления вод	32
2.1.1. Расчет показателей пылевого облака.....	32
2.1.2. Показатели распыления воды	33
2.2. Необходимая траектория капли для смачивания частиц пыли	35
2.2.1. Расчет траектории водяной капли.....	38
3. ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ	45
3.1. Расчет размеров и параметров модели	45
3.2. Планирование эксперимента.....	51
3.3. Обработка и анализ опытных данных.....	54
4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	58
4.1. Меры безопасности при выемке и погрузке горной массы в транспортные сосуды.....	58
4.2. Меры безопасности при эксплуатации автотранспорта	60
4.3. Меры безопасности при автомобильном отвалообразовании.....	62
4.4. Противопожарные требования техника безопасности при работе автотранспорта и экскаваторов.....	64

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	66
5.1. График сетевого планирования дипломной работы.....	66
5.2. Расчет сметы затрат на изготовление стенда «Физическая модель пылеподавления»	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	76

ВВЕДЕНИЕ

Пылеобразование на карьерах – одна из важнейших проблем, возникающая и усиливающаяся в последние десятилетия на горных предприятиях открытой разработки. Обострение проблемы вызывается повышением интенсивности и объемов горных работ, а также применением более мощного горного оборудования. С другой стороны, ужесточаются требования к санитарным нормам воздушного бассейна карьеров с целью снижения негативных последствий вредной пылегазовой атмосферы на здоровье людей - в первую очередь и износ горного оборудования.

Основными источниками пылеобразования на открытых горных работах является массовые взрывы, буровые станки, места погрузки и разгрузки горной массы, а также ее транспортирование автосамосвалами. Причем по данным литературных источников, доля пылеобразования автосамосвалами составляет до 92% от его общего объема.

В настоящее время основными способами пылеподавления при движении автосамосвалов является орошение автодорог специальными поливальными машинами, обработка дорожного покрытия различными химическими растворами. Кроме высокой стоимости эти способы имеют два существенных недостатка - непостоянство эффекта их действия обусловленного естественными испарением влаги и высыханием пылевого вещества и периодичность процесса увлажнения (обычно не чаще двух-трех раз в смену).

С 2013 года на нашей кафедре Горные машины и комплексы проводятся исследования по интенсификации процесса пылеподавления на карьерных автодорогах. В частности, в публикациях и полученном патенте, для пылеподавления предлагается использовать воду под давлением из трубопровода карьерных водоотливных установок, проложенных вдоль дорог. Его ожидаемая высокая эффективность к сожалению, страдает существенным недостатком: протяженность участков автодорог,

совпадающих с трубопроводом весьма незначительна, а за пределом карьера и вовсе отсутствует.

В продолжение решения проблемы пылеподавления наметился и разрабатывается под руководством Федора Ивановича Борисова новый, принципиально отличающийся от ранее известных, способ пылеподавления, названный «индивидуальным». Его суть - возникающее при движении автосамосвала пылевое облако подавляется распыляемой водой из емкости с помощью насоса и форсунок, установленных на этом же автосамосвале.

В дипломной работе Кудашкина Д.А. (2017г.) в первоначальном варианте были рассмотрены организационные и технико-экономические вопросы указанного «индивидуального способа пылеподавления».

В нашей работе ставилась задача научного обоснования расхода воды для подавления пылевого облака, что позволит определить необходимую емкость воды на платформе автосамосвала. Для решения этой проблемы ставились следующие задачи:

- а) обосновать дисперсность распыляемой воды;
- б) выполнить теоретические расчеты процесса взаимодействия частиц воды и пыли;
- в) на основе теории моделирования разработать и изготовить действующую физическую модель пылеподавления;
- г) на основе планирования экспериментов составить матрицу и по ней выполнить опытные испытания, двухфакторного эксперимента;
- д) обработать результаты опытов и по ним сформулировать практические рекомендации.

На основе изучения некоторых литературных источников было выявлено, что оптимальный размер водяных капель для пылеподавления после массовых взрывов составляет 1мм-это равно естественной дисперсности дождевых капель. В других источниках отмечается тот факт, что с уменьшением размера капель эффективность их взаимодействия с пылью возрастает. В данной работе, на основе теоретических расчетов,

диаметр частиц воды был принят равным 0,3мм, что и использовалось при создании распылителей в камере экспериментальной установки.

1. ПЫЛЕГАЗОВАЯ АТМОСФЕРА В КАРЬЕРЕ

1.1. Источники пылеобразования и их характеристики

Добыча полезных ископаемых сопровождается изъятием вещества недр и нарушением целостности породных массивов, прилегающих к горным выработкам. Использование земельных площадей под горные отводы сопровождается следующими воздействиями на окружающую среду: загрязнением почвенного покрова прилегающих территорий; потреблением водных ресурсов, которое происходит одновременно с их загрязнением и сбросами сточных вод; изъятием кислорода из атмосферы в процессе сжигания топлива и окисления вскрытых пород; загрязнением атмосферы пылегазовыми выбросами. То есть горное производство оказывает влияние на экосистемы, существование которых обусловлено лишь компонентами природной среды, воспринимаемыми человеком как ресурсы биосферы.

Горное производство, являясь одним из основных видов хозяйственной деятельности человека, приводящей к изменению природы, выражает себя в неминувом изъятии вещества и изменении физических и химических характеристик окружающей природной среды. Программный документ «Энергетическая стратегия России на период до 2020 года», разработанный Минэнерго России в 2000 году, предусматривает диверсификацию энергоносителей: стабилизацию доли газа в производстве первичный топливно-энергетических ресурсов (до 38,8 %) и увеличение использования угля в топливно-энергетическом балансе страны, с доведением его добычи до 430 млн т в год. В Центральном Федеральном округе планируется создание топливной базы Рязанской ГРЭС на подмосковных углях с годовым объемом добычи угля от 1 до 1,5 млн т, а в перспективе - до 4 млн т в год. Сегодня в основных угледобывающих регионах помимо закрытия нерентабельных и технологически опасных шахт, ведется реконструкция действующего шахтного и карьерного фонда, строительство новых предприятий.

Увеличение объема производства в условиях рынка приведет к существенному повышению пылегазовых выбросов в атмосферу не только вследствие сжигания топлива, но и в ходе его добычи. [13]

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых происходит значительное загрязнение атмосферы пылегазовыми выбросами, как в рабочей зоне, так и на прилегающей территории горнорудных поселений. Пылегазовые выбросы представляют собой совокупность тонко дисперсных частиц (SiO_2 от долей мкм до 100 мкм) и газов: оксида углерода (CO), диоксид азота (NO_2), серы диоксид (SO_2) и др. Загрязнение атмосферы наносит существенный ущерб качеству окружающей среды, оказывает негативное влияние на здоровье работающего персонала и население, проживающее вблизи горнорудных поселений.

Интенсивность пылегазовых загрязнений атмосферного воздуха зависит от совокупности следующих факторов: от используемых технологических и технических процессов, применяемого оборудования на подготовительных, вскрышных и добычных работах; природно-климатических условий района ведения открытых горных работ. Выбросы загрязняющих веществ крупных горнодобывающих предприятий, как правило, достигают значительных объемов и загрязняют атмосферный воздух в радиусе нескольких километров. Валовые выбросы иногда достигают тысячи тонн в год. Учитывая то, что абсолютные значения объемов выделений загрязняющих веществ, выраженные в таком измерении, не дают полного представления о загрязнении атмосферы, оцениваемой предельно допустимой концентрацией их содержания в воздушной среде, считаем, что для комплексной оценки состояния атмосферы важно знать динамику поступлений загрязняющих веществ в окружающую среду. Главной особенностью горнодобывающего предприятия, с точки зрения воздействия на атмосферу, является наличие большого количества неорганизованных и нестационарных источников с крайне неравномерным в течение смены выбросом

В соответствии со способами разработки, этапами работ и с применяемым технологическим оборудованием определяются параметры источника. Точечными источниками загрязнения называются источники, выбросы которых организованы в дымовую трубу или вентиляционную систему (дымовая труба котельной, вентиляционное отверстие корпусов). Площадными источниками загрязнения называются источники, выбросы которых неорганизованны, т.е. не имеют устройств отвода загрязнителей и осуществляются со всей площади пыления - (карьеры, отвалы). Под линейным источником понимаются вентиляционные выбросы через аэрационные фонари или иные проемы, расположенные вдоль цехов. Внутренние и внешние технологические автодороги на карьерах и угольных разрезах также представляются линейными источниками загрязнения и определяются начальными и конечными координатами отрезка автодороги.

Буровые работы оказывают негативное влияние на окружающую среду главным образом, за счет запыления атмосферного воздуха. Наибольшую опасность для окружающей среды представляет выделение в атмосферу мелкодисперсной пыли, образующейся в процессе бурения. При бурении скважин станками шарошечного бурения с очисткой сжатым воздухом количество образовавшейся мелкодисперсной пыли достигает сотен килограммов в год.

Массовый взрыв на разрезе (карьере) является мощным периодическим источником выброса в атмосферу большого количества пыли и газов. Вредные примеси выделяются в атмосферу в виде пылегазового облака. Часть вредных газов (около одной трети) остается во взорванной горной массе и затем выделяется в атмосферу, загрязняя район взорванного блока и прилегающие к нему участки. Выделившаяся пыль, выпадая из пылегазового облака, оседает на уступах, на площадях около разреза (карьера) и в близлежащих поселках, являясь в дальнейшем источником пыления.

Погрузочно-разгрузочные работы сопровождаются значительным выделением пыли. Максимальное количество пыли выделяется при работе экскаваторов, несколько меньшее - при работе бульдозеров.

При транспортировании негативное воздействие на окружающую среду существующих видов транспорта проявляется в виде отчуждения территорий при сооружении транспортных коммуникаций, загрязнения воды подвижным составом и обслуживающим хозяйством, загрязнения атмосферы пылью в результате сдувания ее с поверхности транспортируемого материала. При работе автомобильного и железнодорожного (тепловозы) транспорта загрязнение атмосферы карьера (разреза) происходит также за счет выброса вредных веществ при сжигании топлива в двигателях внутреннего сгорания.

При использовании конвейерного транспорта на карьерах (разрезах) появляются новые источники выделения пыли: дробильные установки, грохоты, транспортный конвейер.

При отвалообразовании вскрышных пород выбросы вредных веществ (пыли) происходят независимо от способов отвалообразования. Общим для всех способов отвалообразования является формирование больших незакрепленных поверхностей (плоскостных источников), которые при неблагоприятных условиях приводят к интенсивному пылевыведению.

Породные отвалы. Выбросы пыли в атмосферу происходят при его формировании и при сдувании твердых частиц с поверхности отвала. Выделение пыли при формировании отвала зависят от типа используемого оборудования, объема и влажности одновременно перегружаемого материала, высоты пересыпа, климатических особенностей местности и эффективности применяемых средств пылеподавления.

Количество твердых частиц, сдуваемых с поверхности породных отвалов, зависит от площади пылящей поверхности, влажности и степени измельчения горной массы, климатических особенностей района и эффективности средств пылеподавления. При самовозгорании отвалов в атмосферу выбрасываются оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода и

сероводород. Интенсивность выбросов загрязняющих веществ зависит от наличия в породе горючей массы, технологии формирования отвалов и от времени его существования.

Открытые склады угля. Выбросы угольной пыли в атмосферу происходят при выгрузке угля на склад, сдувании пыли с поверхности склада и отгрузке угля со склада. Выделение пыли со склада угля зависят от типа используемого оборудования, объема, влажности и степени измельчения одновременно перегружаемого материала, высоты пересыпа, климатических особенностей местности и эффективности применяемых средств пылеподавления, а также от площади пылящей поверхности.

Транспортирование горной массы осуществляется автомобильным транспортом и сопровождается выбросами от двигателей внутреннего сгорания транспортного средства (оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, углеводороды, сажа), выбросами пыли при движении автомобилей по автодорогам, сдувании пыли с поверхности транспортируемого материала. Выбросы загрязняющих веществ при работе двигателей внутреннего сгорания определяются типом и маркой транспортного средства, техниче 102 ским состоянием и продолжительностью работы. [14] В таблице 1.1 кратко представлены процессы и экологические аспекты открытых горных работ.

По оценкам специалистов мировое потребление минерального сырья достигло около 12 млрд. т в год, а извлечение горных пород из недр ежегодно составляет около 100 млрд. т. В целом по России добыча угля составляет 259,9 млн.т (по данным Минэнерго России и «Росинформугля»), металлических руд — 230 млн.т, стройматериалов — 1,4 млрд.т. Одновременно с увеличением масштабов добычи и переработки минерального сырья наблюдается рост мощности единичного горного производства, под которые и перерабатывающих предприятиях.

Таблица 1.1 - Процессы и экологические аспекты открытых горных работ

Процессы	Экологические аспекты
Подготовка горных пород к выемке	Пыль и газы при бурении скважин и шпуров. Пыль и ядовитые газы при производстве взрывных работ. Пыль при резке камня камнерезными машинами на карьерах пильного камня.
Выемочно-погрузочные работы	Пыль при выемке и погрузке горной массы в транспортные средства и разгрузке в отвал различными выемочными машинами. Пыль и газы при выемке горной массы экскавационными и транспортирующими машинами с двигателем внутреннего сгорания (экскаваторы с дизельным приводом, погрузчики, скреперы, бульдозеры).
Транспортирование карьерных грузов	Пыль на пунктах перегрузки и на карьерных автодорогах. Сдувание пыли из транспортных сосудов при перемещении полезных ископаемых, пород и отходов обогащения. Газы при работе автотранспортных средств и тяговых средств железнодорожного транспорта с двигателями внутреннего сгорания.
Отвалообразование и складирование пустых пород, отходов обогащения и полезных ископаемых.	Пыль при укладке горной массы в отвалы и склады. Пыление обнаженных поверхностей отвалов пустых пород, складов полезных ископаемых, шламохранилищ. Газы при самовозгорании горной массы в отвалах и на складах.

Продолжение таблицы 1.1

Процессы	Экологические аспекты
Карьерные выемки	Сдувание пыли с поверхностей откосов и площадок. Выделение газов при самовозгорании полезных ископаемых.
Объекты промплощадки: дробильно-сортировочные агломерационные и обогатительные фабрики, котельные установки, базы производственных машин и автотракторной техники	Пыль при разгрузке, дроблении и сортировке полезных ископаемых. Пыль и газы при работе котельных, обжиге и обогащении полезных ископаемых. Газы и пыль при эксплуатации баз производственных машин и автотракторной техники.

Общий рост добычи и мощности горных предприятий вызывают повышение отрицательного воздействия горнодобывающего и перерабатывающего производства на окружающую среду. При этом следует иметь в виду, что в связи с истощением запасов богатого минерального сырья, возрастают объемы добываемой горной массы и количество отходов переработки минерального сырья. В результате происходит образование техногенных массивов, представленных горными породами, отходами обогащения, золами, шлаками, шламами. В настоящее время только в России извлечено из недр и находится в отвалах и хвостохранилищах около 500 млрд. м³ горных пород и отходов переработки полезных ископаемых.

Примером может служить производство чугуна и стали, при котором все технологические процессы сопровождаются большим количеством отходов в виде шлаков, которые становятся источником пыления в атмосферу, проникают в гидросферу и литосферу.

Ветры разносят образующуюся при их хранении пыль, усугубляя экологическую обстановку в городах и регионах. Только в Воркутинском

промышленном районе от деятельности шахт и обогатительных фабрик образовано 28 отвалов и золоотстойников содержащих 24414,6 тыс. м³ породы и более 9 млн. т. золошлаков (3 класс опасности), соответственно, которые представлены кусковой или мелкодисперсной массой. Даже такие горные производства, как карьеры и дробильные фабрики строительного камня (диабаз, гранит, песчаник, известняк и др.) дают до 20 % отсева, не используемого, а складируемого на поверхности. До 40-60 % этого материала составляет пыль с размерами частиц не более 1 мм.

Выход из сложившегося положения необходимо искать путем разработки на горнодобывающем и перерабатывающем предприятии новых способов пылеподавления, так как по количеству выбрасываемых веществ в окружающую среду пыль является основным загрязнителем, наряду с оксидом углерода.

Практически все производственные операции, выполняемые на карьерах (взрывные работы, бурение, экскавация транспортирование горной массы складирование) сопровождаются пылеобразованием.

Мощные выбросы пыли происходят при массовых взрывах достигают 100-250 т. Пылевое облако при массовом взрыве выбрасывается на высоту 150-300 м, в своем развитии оно может достигать высоты 16 км и распространяться по направлению ветра на значительные расстояния (10-14 км). [15]

Значительным пылевыведением сопровождается транспортировка горной массы в карьерах, особенно велико оно при использовании автомобилей (в угольном карьере - 3000-4000 мг/с, в рудном - 600-1200 мг/с).

Исследованиями установлено, что общее количество пыли, содержащееся в разрушенном угле, складывается из вновь образованных частиц и частиц, находящихся в пустотах и трещинах пласта.

Основными источниками загрязнения атмосферы пылью при переработке минерального сырья являются агломерационное, доменное,

сталеплавильное производства. Дополнительно к ним действуют, как при ведении работ, так и после прекращения деятельности горнодобывающего и перерабатывающего предприятия, такие источники, как отвалы (не менее 30 % площади), пляжные зоны хвостохранилищ (25 % площади) и эрозионные зоны.

Например, на Лебединском горно-обогатительном комбинате объекты промышленной площадки, занимая немногим более 10 % общей площади предприятия, выбрасывают в атмосферу более 60 % всей пыли.

В зависимости от расположения, все источники пыли делятся на внешние и внутренние. От внешних источников пыль посредством ветра проникает в выработанное пространство, ухудшая состояние его атмосферы. К этим источникам относятся дробильные установки, обогатительные и агломерационные фабрики, металлургические предприятия, шлаковые отвалы, автомобильные дороги и др. Внутренние источники (буровые станки, выемочно-погрузочные машины, взрывные работы, дробилки и др.) вызывают как местное, так и общее загрязнение атмосферы. При этом по характеру действия все внутренние источники классифицируются как точечные, объемные, линейные и распределенные. Кроме того, источники пыли могут быть непрерывно действующими и периодическими. По положению источники бывают стационарными и не стационарными, равно как и по интенсивности поступления пыли в окружающую среду (стабильное и нестабильное).

Выбросы пыли в атмосферу зачастую имеют региональный и глобальный характер с необратимым влиянием на биосферу. Региональное запыление атмосферы характерно для промышленных городов, где в настоящее время среднее число пылевых частиц в 1 м^3 атмосферного воздуха составляет до 10000 единиц.

Однако, это не относится, например, к глобальному распространению тонкодисперсных канцерогенных асбестовых волокон, число которых вблизи

мест добычи и переработки асбеста в среднем составляет 12000-14000 в 1 м³, а на удалении 7- 8 км от мест добычи - свыше 7000-8000 в 1 м³ воздуха.

Суммарные массы атмосферных выбросов пыли от источников могут достигать десятков тысяч тонн в год, а перенос пыли ветром может осуществляться до десятков километров от источника. Санитарно-гигиеническая оценка атмосферы над грунтовыми и карьерными дорогами свидетельствует о необходимости разработки и внедрения современных обеспыливающих технологий и применение эффективных профилактических средств на покрытие таких дорог. [15]

1.2. Существующие способы пылеподавления

В ближайшие годы и в перспективе, - угольная промышленность будет развиваться за счет увеличения добычи угля наиболее эффективным и прогрессивным открытым способом на базе широкого внедрения высокопроизводительной циклично-поточной технологии и горной техники, включающей роторные экскаваторы и комплексы производительностью 1250-12500 т/ч, большегрузный автомобильный транспорт грузоподъемностью 110-200 т и более, карьерные экскаваторы с ковшами вместимостью 15 и 20 м³ и др.

Техническое перевооружение угольной промышленности и применение мощной техники будут способствовать увеличению запыленности воздуха в рабочих зонах, достигающей в настоящее время 2000 мг/м³ и более. Поэтому борьба с пылью на вошла в число наиболее важных народнохозяйственных проблем, предусматривающих необходимость разработки комплекса эффективных мероприятий, направленных на обеспечение нормальных санитарно-гигиенических условий труда и защиту окружающей среды от вредного воздействия угольной и породной пыли в

условиях положительных и отрицательных температур и создание, в конечном счете, «Экологически чистого разреза». [16]

1.2.1. Борьба с пылью при буровзрывных работах

Основными источниками образования пыли и газа в карьере являются буровзрывные работы (до 35%), погрузочно-транспортные операции и пыль, осевшая на карьерных площадях. Выделение токсичных газов вызвано проведением массовых взрывов в карьере (до 60%) и работой технологического автотранспорта при перевозках взорванной горной массы на отвалы, дробильно-перегрузочные пункты, а также на рудные склады различного назначения.

Интенсивность пылегазообразования при ведении буровзрывных работ на карьере зависит от многих факторов, к основным из которых следует отнести физико-механические свойства горных пород и их обводненность, способы бурения взрывных скважин, ассортимент применяемых ВВ, типы используемых забоечных материалов, методы взрывания (на подобранный откос уступа или в зажатой среде), время производства массового взрыва, метеоусловия на момент массового взрыва и др.

Мощные выбросы пыли происходят при массовых взрывах (100-250 т). Пылевое облако при массовом взрыве выбрасывается на высоту 150-300 м, в своем развитии оно может достигать высоты 16 км и распространяться по направлению ветра на значительные расстояния (10-14 км).

Сокращение пылегазовыделения при массовых взрывах осуществляется за счет технологических, организационных и инженерно-технических мероприятий.

Технологические мероприятия включают: взрывание высоких уступов (от 30 м и более), что способствует уменьшению в 1,25 раза высоты пылегазового облака и уменьшению образования оксидов азота; замену тротила на ВВ с нулевым или близким к нему кислородным балансом

(граммонит 79/21, игданит и др.), что будет способствовать уменьшению (до 2—9 раз) количества образующихся вредных газов при взрывах в любых горнотехнических условиях (так экспериментальными замерами установлено, что при взрывании бестротилового ЭВВ происходит значительное уменьшение загрязнения окружающей среды, чем при взрывании промышленных тротилосодержащих ВВ (при взрыве 1 кг гранулолита в атмосферу карьера выделяется 240 л, 1 кг граммонита - 140 л, 1 кг ЭВВ - 50 л ядовитых газов в пересчете на условную окись углерода) ; взрывание на неубранную горную массу, т. е. на подпорную стенку из ранее разрушенной горной массы.

Ширина подпорной стенки должна быть не менее 20 м. При ширине подпорной стенки до 20—30 м резко сокращается или вообще не образуется вторичное пылегазовое облако (отсутствие пылевыведения со стороны развала) и на 2—3 ч после взрыва на нижней отметке взорванного уступа сокращается время снижения концентрации СО до предельно допустимого уровня; использование в качестве ВВ в обводненных скважинах граммонита 79/21 с предварительной откачкой воды или применением специальных загустителей, что способствует уменьшению количества образующихся вредных газов.

Организационные мероприятия включают: перенесение времени взрыва на период максимальной ветровой активности (например, для карьеров Кривбасса это 12—13 ч), что способствует сокращению времени проветривания карьеров на 15—20 %; использование забоечного материала с минимальным удельным пылеобразованием (например, замена шламов хвостохранилищ, буровой мелочи и т. п. на мелкую щебенку или песчано-глинистую забойку, что способствует сокращению пылевыведения); организация систематического контроля состава атмосферы карьеров и участков взорванных блоков после массовых взрывов в соответствии с «Едиными правилами ведения взрывных работ», что позволит избежать преждевременное попадание людей в карьер и их отравление.

Инженерно-технические мероприятия включают: орошение зоны выпадания пыли из пылегазового облака водой или пылесмачивающими добавками из расчета 10 л воды на 1 м² площади орошения. Зону орошения рекомендуется устраивать на расстоянии 50—60 м от границы взрываемого блока. Более точно расстояние от границы взрываемого блока (м), на котором выделяется пыль за счет взметывания ударной волной, находится расчетным способом. Мокрые способы борьбы с пылью делятся на способы предупреждения подъема пыли в воздух, образующейся при разрушении, погрузке и транспортировании горной породы (предварительное увлажнение массива и отторгнутой горной породы, орошение и смачивание в момент ее разрушения и др.); обеспыливания воздуха или подавления взвешенной пыли распыленной водой (орошение, водяные завесы и др.) и предотвращения повторного поступления в воздух осевших пылевых частиц (орошение и связывание осевшей пыли). Мокрые способы борьбы с пылью составляет основу комплекса обеспыливающих мероприятий в шахтах, рудниках и карьерах.

Гидрообеспыливание для сокращения выделения и рассеивания вредных примесей осуществляется с помощью гидрозабойки скважин — внешней, внутренней и комбинированной.

Гидрозабойка выполняется с использованием полиэтиленовых емкостей, наполненных водой. Внешняя забойка представляет собой полиэтиленовый рукав диаметром около 1 м и более, который размещается, но рядам скважин. Длина рукавов диктуется состоянием поверхности заряженного блока и контуром взрываемых скважин. Наполнение рукава водой осуществляется с помощью поливочной машины, оборудованной гидронасосом. Внутренняя гидрозабойка — это полиэтиленовый рукав с диаметром, на 15 мм большим, чем диаметр скважины, и длиной на всю ее неактивную часть. Толщина полиэтиленовой пленки не менее 0,2 мм. При большой трещиноватости пород следует применять двойной рукав.

Комбинированная гидрозабойка — сочетание двух первых. Эффективность гидрообеспыливания при взрыве заряда массой до 300 кг; с помощью внешней гидрозабойки — 53 % (удельный расход воды $1,38 \text{ кг/м}^3$ горной массы), внутренней — 84,7 % (удельный расход воды $0,78 \text{ кг/м}^3$), комбинированной — 89,4 % (удельный расход воды $1,04 \text{ кг/м}^3$). При взрыве зарядов массой 450—620 кг эффективность внутренней гидрозабойки составляет 50,4 % (расход воды $0,46 \text{ кг/м}^3$). Сокращение пылевыведения в процессе взрыва возможно также за счет применения гидрогеля для внутренней гидрозабойки скважин (рекомендации Криворожского горнорудного института). Гидрогель включает: аммиачную селитру — 4%, жидкое стекло — 8%; синтетические жирные кислоты — 2%, воду — 86%. Для получения гидрогеля используется специальная установка. Эффективность гидрогелевой забойки при ее высоте 2—4 м достигает 34—54%.

Снижение пылевыведения при отрицательных температурах в процессе взрыва возможно за счет нанесения слоя искусственного снега на взрываемый блок и прилегающую территорию с расходом 8—13 кг/м² поверхности. Это мероприятие по данным Института гигиены морского транспорта Министерства здравоохранения СССР позволяет в 3—5 раз снизить поступление пыли в атмосферу. В качестве внутренней гидрозабойки скважин в период отрицательных температур можно использовать снежно-ледяную забойку (Пичуев В. И.). Она включает в себя зарядку неактивной части скважины искусственным снегом с оставлением 1 м для инертной забойки. Верхняя часть скважины заливается водой из расчета 20 л при температуре воздуха — 4—8 °С. Забойка в верхней части смерзается и примерзает к стенкам скважины. Пылевыведение сокращается в 5—6 раз. Подавление пыли, выделившейся в атмосферу карьера с пылегазовым облаком, можно осуществить с помощью гидрозавес, создаваемых вентиляторами-оросителями НК-12КВ (рекомендации ИГД Минчермета СССР) или установками импульсного дождевания (ВНИИБТГ,

Союзгипроводхоз). Эффективность пылеподавления при использовании последних достигает 70—80 %.

Этот способ заключается в том, что в воздушную струю, создаваемую установками искусственного проветривания, вводится вода, которая воздушным потоком разбивается на мелкие капли. При этом создается как бы объемный фильтр, в котором мелкие капли воды, соударяясь с витающими в воздухе пылинками, утяжеляют последние и падают вместе с ними на взорванную горную массу или площадки и откосы карьера.

Кроме очистки воздуха от витающей пыли в выработанном пространстве использование воздушно-водяных струй позволяет равномерно разбрызгивать воду или растворы поверхностно-смачивающих добавок на значительные площади, подлежащие орошению. Воздушно-водяные струи могут быть созданы с помощью реактивных двигателей и оросительно-вентиляционных установок ОВ-1, ОВ-2, ОВ-3 и др. Воздушно-водяная струя, создаваемая установками типа ОВ, способна оросить одновременно около 8 тыс. м², а с одной позиции 60—62 тыс. м² поверхности.

Наряду с орошением осуществляется местное искусственное проветривание участков, прилегающих к взорванному блоку, что позволяет помимо пыли снизить концентрацию вредных газов, скопившихся в застойных зонах.

Сокращение времени проветривания взорванных блоков возможно при интенсификации процесса газовыделения из развала горной массы. Для этого следует осуществить полив горной массы через 1—2 ч после взрыва с расходом 50 л/м³ (кроме руд и пород с примесью глинистых частиц). Полив горной массы позволяет интенсифицировать процесс газовыделения на 25—40 %. [17]

1.2.2. Борьба с пылью при экскавации горной массы

Увлажнение взорванной горной массы. Выемка и погрузка угля предусматривает сезонное разделение работ по снижению пылеобразующей способности углей – при положительной и отрицательной температуре окружающей атмосферы и угольного массива.

При экскавации горной массы в отдельных забоях при положительных температурах, с невысокой влажностью пород, может наблюдаться пылевыведение.

Для предупреждения пылевыведения при ведении экскаваторных работ предусматривается увлажнение горной массы отдельных пылящих забоев (при необходимости). Увлажнение осуществляется путем поверхностного орошения с помощью поливооросительных машин, оборудованных гидромонитором, например, автомобилей БелАЗ-7648 (емкостью 32 м³). До 25% экскавируемой горной массы в летний период подлежит орошению водой. Радиус разбрызгивания струи воды – 60 м.

Средства орошения следует располагать на верхней или нижней площадке уступа с учетом направления ветра относительно забоя и экскаватора в удобном для размещения месте или непосредственно на спланированном с помощью бульдозера уступе.

Заправку поливооросительных автомобилей водой предусматривается частично производить из зумпфов – отстойников карьерных вод, расположенных в выработанном пространстве и временного зумпфа – накопителя, расположенного на поверхности. В связи с нехваткой собственных карьерных вод для орошения забоев и дорог, а также профилактики и тушения эндогенных пожаров, заправка водой будет производиться также от водоотливной установки соседнего разреза.

Накопленный отечественными предприятиями опыт показывает, что одним из эффективных способов борьбы с пылью на разрезах при отрицательных температурах воздуха является пылеподавление искусственным снегом. Пылеподавление искусственным снегом может осуществляться как путем воздействия на взвешенную в воздухе пыль, так и

путем экранирования разрыхленной горной массы посредством покрытия ее снегом перед экскавацией и погрузкой. Применение такой установки снижает запыленность воздуха в рабочей зоне экскаватора типа ЭКГ-8И на 96,5 %. [5]

Борьба с пылью при работе экскаваторов непрерывного действия. Что касается роторных экскаваторах, то на них используются большое количество средств борьбы с пылью, в том числе орошение, системы аспирации и сухого пылеулавливания.

Кабины машинистов экскаваторов и электрооборудования герметизированы и оснащены фильтро-вентиляционными установками и кондиционерами.

Все вновь выпускаемые роторные комплексы, включая экскаваторы, перегружатели и конвейеры, оснащаются оросительными системами. Оросительные системы обеспечивают, в первую очередь, пылеподавление в месте разрушения горного массива (в месте выемки) для того, чтобы подавить пыль до перехода ее во взвешенное состояние.

Магистраль для заправки водой емкостей систем орошения роторных экскаваторов и перегружателей могут подсоединения как друг к другу, так и к противопожарно-оросительному трубопроводу разреза и автоцистерне-заправщику.

Орошение применяется при пылеподавлении в зоне разрушения массива угля роторным колесом, в укрытиях бункеров и пунктов перегрузок на конвейерных линиях, соответственно с применением гидроэжекторов и оросителей для распыления жидкости.

Аспирация и очистка воздуха от пыли на роторных комплексах осуществляется путем отсоса запыленного воздуха из-под укрытий мест пылеобразования (выгрузка горной массы из ковшей роторного колеса в приемный бункер, перегрузки на конвейерах) и последующей очистки его в циклонах и фильтрах.

1.2.3. Борьба с пылью при погрузочных и транспортных работах и складировании горной массы

Борьба с пылью при транспортировании горной массы конвейерами.

Существует большое количество различных видов укрывных пунктов перегрузки насыпных материалов в поточных транспортных линиях промышленных предприятий (обогачительных и брикетных фабрик, заводов по производству цемента, удобрений и др.) Многие из этих устройств применимы и для конвейерных линий открытых разработок полезных ископаемых. Ниже рассмотрены различные конструкции укрытий для линейных ставов ленточных конвейеров, транспортирующих пылящие насыпные грузы.

Применение высокопроизводительной циклично-поточной технологии и горной техники на разрезах и карьерах вызывает увеличение запыленности воздуха в рабочих зонах, достигающей 2000 мг/м³ и более. Поэтому борьба с пылью на этих предприятиях является важнейшей проблемой, требующей разработки и применения комплекса эффективных мер, направленных на обеспечение нормальных санитарно-гигиенических условий труда и защиту окружающей среды от вредного воздействия на нее угольной и породной пыли.

В руководстве по борьбе с пылью при транспортировании горной массы на угольных и сланцевых разрезах стационарными ленточными конвейерами приведено требование по обеспечению укрытия их линейных ставов по всей длине.

В связи с тем, что выпускаемые отечественными заводами ленточные конвейеры для угольных и горнодобывающих предприятий не комплектуются специальными укрытиями их ставов, на практике эти укрытия или не применяются вовсе, или изготавливаются из имеющихся материалов самими предприятиями, использующие конвейерный транспорт.

В патентной литературе встречаются различные конструктивные решения по укрытиям. Ряд зарубежных фирм специализированы на изготовление и коммерческой реализации комплектующих изделий ленточных конвейеров в том числе и укрытие их линейных ставов.

Конструкция данных укрытий обеспечивает беспыльную транспортировку сыпучих грузов и достаточно быстрый доступ к любому месту става конвейера для его технического обслуживания.

Стандартное полное укрытие состоит из металлических каркасов, устанавливаемых на раме линейной секции конвейера с помощью опорных пластин. На последних кроме каркасов крепятся запорные болты с крыльчатыми гайками. На каждом каркасе имеются кронштейны и подвешены цепочки, которые связаны с запорными болтами для предохранения их от потерь.

Стандартное укрытие 3/4 представляет собой капот, сферическая поверхность которого на $1/4$ меньше поверхности полного укрытия. Применяется, когда по условиям эксплуатации конвейера достаточно плотно накрыть его грузонесущую ветвь только с одной стороны и оставить неприкрытой другую сторону для наблюдения за состоянием ленты и роликов. По конструктивному исполнению это стандартное укрытие может быть откидным и фиксированным.

Стандартное частичное укрытие применяется для тех конвейеров, при работе которых не требуется полного укрытия грузонесущей ветви. В этом случае доступ к ленте и роликам открыт с обеих сторон.

Фибerglassовое укрытие для конвейерных установок, работающих в доках и морских портах, на заводах, производящих удобрения, химических и других предприятиях, где существует проблема коррозии металла.

Эти укрытия не ржавеют, не подвержены окислению, воздействию солей и химикатов. Они дешевле и легче укрытий из стальных листов с гальваническим покрытием, нержавеющей стали и алюминия.

Следует отметить, что рассмотренные конструкции укрытий грузонесущей ветви конвейера не только предотвращают сдувание ветром пыли с транспортируемой горной массы, но и предохраняют ленту и роlikоопоры от вредного воздействия на них дождя, снега, ветра, солнечных лучей и способствуют таким образом повышению их износостойкости и долговечности. При использовании укрытий обеспечивается безопасность обслуживающего персонала за счет ограничения его контакта с находящимися в движении лентой и роликами конвейера.

Системы аспирации и обеспыливания на пунктах погрузки угля в железнодорожные вагоны и на приемной яме. Система аспирации и пылеподавления пункта погрузки угля в железнодорожные вагоны включает в себя аспирационный зонтик 1 (рисунок 1.2), аспирационный воздухопровод 2, батарейный пылеуловитель 2, бункер для сбора пыли 4, вентилятор-дымосос 5, зернистый фильтр 6, полувагон 7, погрузочный желоб 8У бункер- дозатор 9, воздухораспределитель 10.

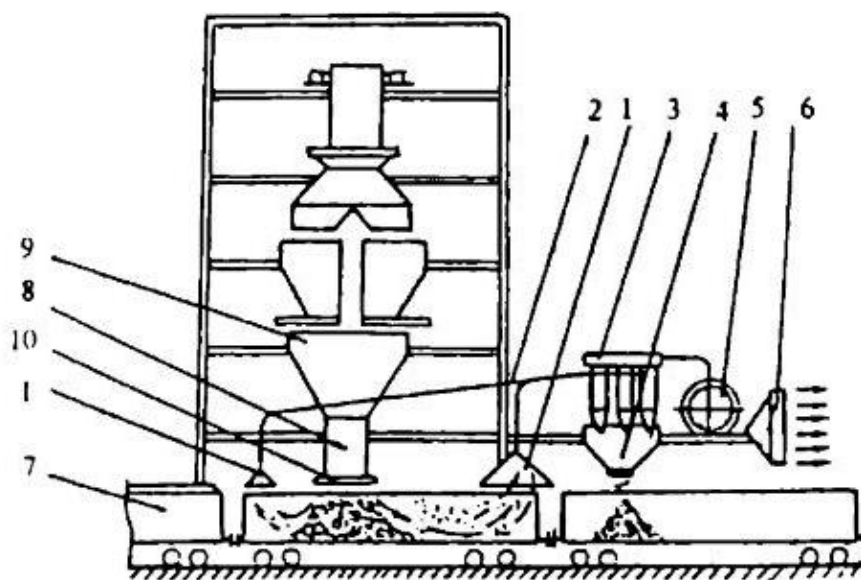


Рисунок 1.2 - Система аспирации и пылеулавливания на пункте погрузке угля в железнодорожные.

Система аспирации и пылеулавливания на приемной яме представлена на рисунке 1.3. На нем показаны: 1 — автосамосвал, 2 — накопительный бункер, 3 — пылесборники, 4 — пылеуловитель, 5 — дымосос-вентилятор, 6 — зернистые фильтры, 7 — аспирационные воздуховоды. [18]

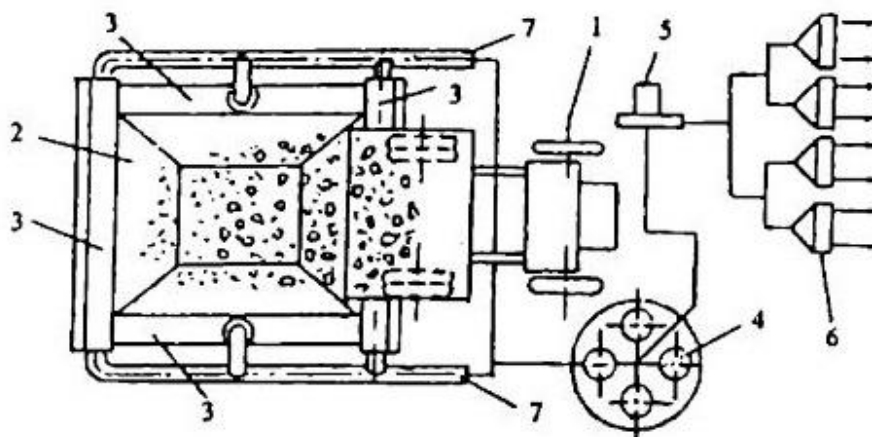


Рисунок 1.3 - Система аспирации и пылеулавливания на приемной яме

1.2.4. Борьба с пылью на автодорогах

При транспортировке горной массы наибольшее загрязнение пылью наблюдается при использовании автотранспорта. Автомобильные дороги со щебеночно-гравийным покрытием в карьерах и особенно на отвалах являются основными постоянно действующими источниками пылеобразования и на их долю может приходиться до 70-90% всей выделяемой пыли.

Автотранспорт при транспортировании горной массы поднимает большое количество пыли. Автомобильные дороги на карьерах, использующих автотранспорт, занимают одно из первых мест в балансе пылевыведения по всем источникам выделения пыли в карьере. На их долю приходится 70-90% всей выделяемой пыли.

Интенсивность выделения пыли карьерных автодорог зависит от состояния дорожного покрытия, скорости движения автотранспорта и климатических условий. Особенно большое пылевыведение на грунтовых дорогах, а также на щебеночно-гравийных, не обработанных специальными составами.

Большое количество пыли сдувается из открытых транспортных средств при транспортировании угля, песка, другой мелко раздробленной и неувлажненной массы при отсутствии специального закрепления.

Дороги с жесткими покрытиями необходимо систематически очищать от просыпавшейся мелочи и пыли сухим или мокрым способом.

Сухой способ очистки дорог применяется в районах ограничения применения воды и в холодный период года. Очистка производится легкими или средними бульдозерами, автогрейдерами, универсальными фрезерными погрузчиками или снегопогрузчиками с лаповыми питателями. Уборку пыли на автодорогах с жесткими и промерзшими покрытиями рекомендуется производить подметально-уборочными машинами.

Мокрый способ рекомендуется применять в теплое время года с помощью поливомоечных машин, работающих в режиме мойки. На участках постоянных технологических автодорог разрезов со значительным водопритокom рекомендуется использовать стационарный оросительный водопровод с автоматическим управлением электрозадвижками подачи воды.

Для борьбы с пылью в теплое время года на таких автодорогах предусматривается полив проезжей части водой. Наиболее часто для полива автодорог на разрезах используются поливочные машины на базе БелАЗ, КамАЗ

Забор воды на пылеподавление осуществляется из зумпфов-отстойников, находящихся внутри разреза и временного зумпфа – накопителя, расположенного на поверхности [14].

На грунтовых автомобильных дорогах простейшего и переходного типа следует после смешения материала покрытия или пропитки его одним из связывающих веществ производить профилирование и укатку.

В теплое время года мокрые способы пылеподавления необходимо применять на всех технологических автодорогах разрезов, а в зимний период на углевозных путем замораживания осевшей угольной пыли холодной водой с помощью разливочного устройства, принцип действия которого основан на использовании выхлопных газов поливочной машины, что исключает обмерзание оросителя. [18].

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПУТЕМ РАСПЫЛЕНИЯ ВОДЫ В ПЫЛЕГАЗОВОМ ОБЛАКЕ АВТОСАМОСВАЛ

2.1. Расчет показателей пылевого облака и распыления вод

2.1.1. Расчет показателей пылевого облака

Исходными данными принято: интенсивность пылеподавления при движении автосамосвала $q_n=0,014$ кг/с [5]; содержание пыли в облаке $\sum G_q = 0,5 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ $= 0,5 \cdot 10^{-2}$ Н/м³ [4]; размер пылевых частиц: $d_n < 10$ мкм - 90...98% по весу, $d_n = 1$ мкм - 2...10% по весу.

Далее для расчетов принято: $d_n = 8$ мкм, $\sum G_q = 0,45 \cdot 10^{-2}$ Н/м³

Вес одной пылевой частицы G_q диаметром $d_q = 0,008$ мм ($d_q = 8 \cdot 10^{-6}$ м) и плотностью $\rho_q = 2600$ кг/м³:

$$G_{q1} = \rho_q \cdot \pi \cdot d_q^3 \cdot g / 6; \text{ Н} \quad (2.1)$$

$$G_{q1} = 2600 \cdot 9,81 \cdot 3,14 (8 \cdot 10^{-6})^3 / 6 = 6,83 \cdot 10^{-12} \text{ Н.}$$

При суммарном весе частиц размером $d_q = 8 \cdot 10^{-6}$ в 1 м³, равном $\sum G_q = 0,45 \cdot 10^{-2}$ кг/м³ $= 0,45 \cdot 10^{-2}$ Н их количество в 1 м³ воздуха составит:

$$\sum N_{qm^3} = \sum G_q / G_{q1} \quad (2.2)$$

$$\sum N_{qm^3} = 0,45 \cdot 10^{-2} / 6,83 \cdot 10^{-12} = 658857980 \text{ шт/м}^3.$$

Объем воздуха, приходящийся на одну частицу

$$V_{B1} = V / \sum N_{qm^3} \quad (2.3)$$

$$V_{B1} = 1,0 / 658857980 = 1,518 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 / \text{шт} \quad (1,518 \text{ мм}^3 / \text{шт}).$$

Размер этого объема (кубика) вокруг одной частицы

$$a_n = \sqrt[3]{V_{B1}} = \sqrt[3]{1,518 \cdot 10^{-9}} = 1,149 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1,149 \text{ мм}). \quad (2.4)$$

Количество «слоев» пыли в 1 м² по 1,149 мм каждый составит:

$$1/a = 1 / 1,149 \cdot 10^{-3} = 870,3$$

Количество частиц пыли в 1 м³ слоя 1,149 мм пылевого облака:

$$\sum N_{m^2} = (\sum N_q)^{\frac{2}{3}} \quad (2.5)$$

$$\sum N_{m^2} = (658857980)^{\frac{2}{3}} = 7571871 \text{ шт/м}^2$$

2.1.2. Показатели распыления воды

Рекомендуемый размер водяных капель $d_{H_2O} = 1000 \dots 1500 \text{ мкм}$

При норме расхода воды (удельный расход) равном $q_{H_2O} = 2,8 \text{ л}$ на 1 кг пыли, необходимо в виде капель подавать объем воды равный:

$$V_{H_2O} = V_{\text{вм}^3} \cdot m \cdot q \quad (2.6)$$

$$V_{H_2O} = 0,45 \cdot 10^{-3} \cdot 2,8 = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ л/м}^3 \quad (1,26 \text{ мм}^3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{м}^3)$$

где $m = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ - содержание пыли в 1 м^3 пылевого облака.

Объем одной капли воды диаметром 1 мм ($d_{H_2O} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$).

$$V_{1H_2O} = \pi \cdot d_{H_2O}^3 / 6 = 3,14 (1 \cdot 10^{-3})^3 / 6 = 5,233 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 / \text{шт}$$

Количество капель объемом по $V_{1H_2O} = 5,233 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 / \text{шт}$ в 1 м^3 воздуха (где содержится $1,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ воды):

$$\sum N_{H_2O} = V_{H_2O} / V_{1H_2O} \quad (2.7)$$

$$\sum N_{H_2O} = 1,26 \cdot 10^{-6} / (5,233 \cdot 10^{-10}) = 2408 \text{ шт/м}^3$$

Количество частиц пыли в 1 м^3 , приходящихся на 1 одну каплю воды диаметром 1 мм

$$K = \frac{\sum N_{\text{ч}}}{\sum N_{H_2O}} = 658857980 / 2408 = 273612 \text{ шт/шт.} \quad (2.8)$$

Среднее расстояние между каплями воды

$$a_{H_2O} = \sqrt[3]{1 / \sum N_{H_2O}} = \sqrt[3]{1 / 2408} = 7,46 \cdot 10^{-2} \text{ м} \quad (74,6 \text{ мм}) \quad (2.9)$$

Количество капель в 1 м^2 пылевого облака

$$\sum N_{H_2O \text{ м}^2} = (\sum N_{H_2O})^{\frac{2}{3}} = (2408)^{\frac{2}{3}} = 179,65 \text{ шт/м}^2 \quad (2.10)$$

Вес одной капли воды диаметром $d = 10^{-3} \text{ м}$ ($d = 1 \text{ мм}$) и объем $V_{1H_2O} = 5,233 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$ до соударения с частицами пыли

$$G_{1H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot V_{1H_2O}. \quad (2.11)$$

$$G_{1H_2O} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 5,233 \cdot 10^{-10} = 5,134 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$$

Вес одной капли воды $d = 10^{-3} \text{ м}$ после соударения с $K = 273612$ частицами пыли весом по $G_{\text{ч}1} = 6,83 \cdot 10^{-12} \text{ Н}$ каждая

$$G_{1H_2O}^* = G_{1H_2O} + K \cdot G_{\text{ч}1} \text{ Н.} \quad (2.12)$$

$$G_{1H_2O}^* = 5,134 \cdot 10^{-6} + 273612 \cdot 6,83 \cdot 10^{-12} = 7,002 \cdot 10^{-6}.$$

Т.е. это увеличит ее вес в 1,364 раза после пролета 1м в облаке пыли.

Объем одной капли воды до соударения с частицами пыли составляет

$$V_{1H_2O} = 5,233 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$$

Объем одной частицы пыли диаметром $d_{\text{ч}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$:

$$V_{1\text{ч}} = \pi \cdot \frac{d_{\text{ч}}^3}{6} = 3,14(8 \cdot 10^{-6})^3 = 0,268 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3 \quad (2.14)$$

Объем одной капли воды $d=1\text{мм}$ после соударения с $K=273612$ частицами пыли объем по $V_{1\text{ч}} = 0,268 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3$ каждая будет равен:

$$V_{1H_2O}^* = V_{1H_2O} + K \cdot V_{1\text{ч}}, \text{ м}^3 \quad (2.15)$$

$$V_{1H_2O}^* = 5,233 \cdot 10^{-10} + 273612 \cdot 0,268 \cdot 10^{-15} = 5,966 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$$

Аналогичные показатели пылевого облака и распыляемой воды были рассчитаны для капель воды диаметром 0,5 мм. Их сравнительные результаты приведены в таблице 1.

Плотность одной капли $d=0,5$ воды после соударения с 3201 частицами пыли

$$\rho^* = G_{1H_2O}^* / \rho \cdot V_{1H_2O}^* = 0,8756 \cdot 10^{-6} / (9,81 \cdot 0,746 \cdot 10^{-6}) = 1196 \text{ кг/м}^3$$

$$\text{При } d=1\text{мм } \rho^* = 7,023 \cdot 10^{-6} / (9,81 \cdot 5,966 \cdot 10^{-10}) = 1199 \text{ кг/м}^3$$

Расчетный диаметр капли воды после соударения с частицами пыли

$$d_* = \sqrt[3]{6 \cdot V_{1H_2O} / \pi} = \sqrt[3]{6 \cdot 5,966 \cdot 10^{-10} / \pi} = 1,045 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Таблица 2.1- Расчетные показатели пылевого облака и распыляемой воды при диаметре частиц 8мкм, интенсивности пылеобразования 0,014кг/с и содержании пыли $0,45 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ($\rho_{\text{ч}} = 2600 \text{ кг/м}^3$)

Наименование показателей и их размерности	Диаметр капли воды мм	
	1,0	0,5
Вес одной частицы пыли, Н	$6,83 \cdot 10^{-12}$	$6,83 \cdot 10^{-12}$
Количество частиц пыли в м^3 , шт	658857980	658857980

Продолжение таблицы 2.1

Объем воздуха, приходящийся на одну пылевую частицу, м ³	$1,518 \cdot 10^{-9}$	$1,518 \cdot 10^{-12}$
Размер кубика вокруг одной частицы, м	$1,149 \cdot 10^{-3}$	$1,149 \cdot 10^{-3}$
Необходимый объем воды для орошения 1м ³ пылевого облака, м ³	$1,26 \cdot 10^{-6}$	$1,26 \cdot 10^{-6}$
Объем одной капли воды, диаметром 1мм м ³	$5,233 \cdot 10^{-10}$	$0,654 \cdot 10^{-10}$
Количество капель воды в 1м ³ , шт	2408	19264
Количество частиц пыли, приходятся на одну каплю воды шт/шт	273612	34201
Вес одной капли воды, Н	$5,134 \cdot 10^{-6}$	$0,642 \cdot 10^{-6}$
Вес капли воды после соударения с частицами пыли, Н	$7,02 \cdot 10^{-6}$	$0,876 \cdot 10^{-6}$
Объем капли после соударения	$5,966 \cdot 10^{-10}$	$0,746 \cdot 10^{-10}$
Плотность капли после соударения, кг/м ³	1199	1196
Расчетный диаметр капли воды после соударения с частицами пыли, м	$1,045 \cdot 10^{-3}$	$0,522 \cdot 10^{-3}$

2.2. Необходимая траектория капли для смачивания частиц пыли

Взаимосвязь между необходимой длиной траектории водяной (L) капли, расстоянием между пылинками ($a_{\text{п}}$) и их количеством (K), приходящимся на одну каплю:

$$L = a_{\text{п}} \cdot K \quad (2.16)$$

$$L = \sqrt[3]{V_{B1}} \cdot \frac{\sum N_r}{\sum N_{H_2O}} = \left(\frac{1}{\sum N_r} \right)^{1/3} \cdot \frac{\frac{\sum G_r}{G_{r1}}}{\frac{V_{H_2O}}{V_{H_2O}}} = \frac{1^{1/3}}{\left(\frac{\sum G_r}{G_{r1}} \right)^{1/3}} \cdot \frac{\left(\frac{\sum G_r}{G_{r1}} \right)^{1/3}}{\frac{m \cdot q \cdot 6}{\pi \cdot d_{H_2O}^3}} = \sqrt[3]{1} \cdot \frac{\pi \cdot d_{H_2O}^3 \cdot \frac{\sum G_r^{2/3}}{G_{r1}^{2/3}}}{6 \cdot q \cdot 0,45 \cdot 10^{-3}}$$

$$= \frac{\pi \cdot d_{H_2O}^3}{6 \cdot q \cdot m^{1/3} \cdot (\rho_r \cdot \pi \cdot d_r^3 \cdot g/6)^{2/3}}$$

При $d_{H_2O} = 10^{-3} \text{ м}$; $m = 0,0045$; $q = 0,0028 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$; $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$;

$d_r = 8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ получим:

$$L = \frac{\pi \cdot (1 \cdot 10^{-3})^3}{6 \cdot 0,0028 \cdot 0,0045^{1/3} \cdot \left(2600 \cdot 3,14 \cdot (8 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 9,81/6 \right)^{2/3}} = 31,45 \text{ м};$$

С учетом постоянных величин $\pi = 3,14^{2/3}$, $g = 9,81^{2/3} \text{ м/с}$, $6^{2/3}$ из выражения (16) будем иметь:

$$L = \frac{0,176 \cdot d_{H_2O}^3}{\rho_r^{2/3} \cdot d_r^2 \cdot m^{1/3} \cdot q}, \text{ м} \quad (2.17)$$

В таблице 2.2 приведены результатов расчетов величины L в зависимости от условий и параметров пылевого облака, а на рисунке 1-графические зависимости для фрагмента этой таблицы (выделен прямоугольник)

Таблица 2.2 – Необходимая длина траектории (L,м) водяной капли для смачивания и осаждения всех частиц пылевого облака в зависимости от свойств капель ($d, \text{м}$), частиц ($\rho_r, \text{кг/м}^3$), интенсивности пылеобразования ($m, \text{Н/м}^3$) и пылеподавления ($q, \text{м}^3/\text{кг}$) при размере частиц $d_r = 8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ (8 мкм).

M, Н/м ³	$\rho_r = 1400 \text{ кг/м}^3$			$\rho_r = 1600 \text{ кг/м}^3$			$\rho_r = 2600 \text{ кг/м}^3$			$\rho_r = 2800 \text{ кг/м}^3$		
	q, м ³ /кг			q, м ³ /кг			q, м ³ /кг			q, м ³ /кг		
	0,0022	0,0025	0,0028	0,0022	0,0025	0,0028	0,0022	0,0025	0,0028	0,0022	0,0025	0,0028
d = 1 мм												
0,0040	62,92	55,37	49,43	57,56	50,65	45,23	41,66	36,66	32,73	39,63	34,88	31,15

0,0045	60,50	53,23	47,54	55,35	48,71	43,49	40,06	35,22	31,45	38,11	33,54	29,95
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Продолжение таблицы 2.2

М, Н/м ³	$\rho_r = 1400 \text{ кг/м}^3$			$\rho_r = 1600 \text{ кг/м}^3$			$\rho_r = 2600 \text{ кг/м}^3$			$\rho_r = 2800 \text{ кг/м}^3$		
	q, м ³ /кг			q, м ³ /кг			q, м ³ /кг			q, м ³ /кг		
	0,0022	0,0025	0,0028	0,0022	0,0025	0,0028	0,0022	0,0025	0,0028	0,0022	0,0025	0,0028
d = 1 мм												
0,0050	58,41	51,40	45,90	53,44	47,02	41,99	38,68	32,97	30,39	39,63	34,88	31,15
0,0055	56,59	49,80	44,46	51,77	45,55	40,67	37,46	37,66	29,43	38,11	33,54	29,95
d = 0,5 мм												
0,0040	7,87	6,92	6,18	7,20	6,33	5,65	5,21	4,58	4,09	4,95	4,36	3,89
0,0045	7,56	6,65	5,94	6,92	6,09	5,44	5,01	4,41	3,93	4,76	4,19	3,74
0,0050	7,3	6,43	5,74	6,68	5,88	5,25	4,84	4,12	3,80	4,60	4,05	3,61
0,0055	7,07	6,22	5,56	6,47	5,69	5,08	4,68	3,99	3,68	4,46	3,92	3,50
d = 0,1 мм												
0,0040	0,063	0,055	0,049	0,058	0,051	0,042	0,042	0,037	0,033	0,040	0,035	0,031
0,0045	0,061	0,053	0,030	0,055	0,049	0,044	0,040	0,035	0,031	0,038	0,034	0,030
0,0050	0,058	0,051	0,046	0,054	0,047	0,042	0,039	0,034	0,030	0,037	0,033	0,029
0,0055	0,057	0,050	0,045	0,052	0,045	0,041	0,037	0,033	0,029	0,036	0,031	0,028

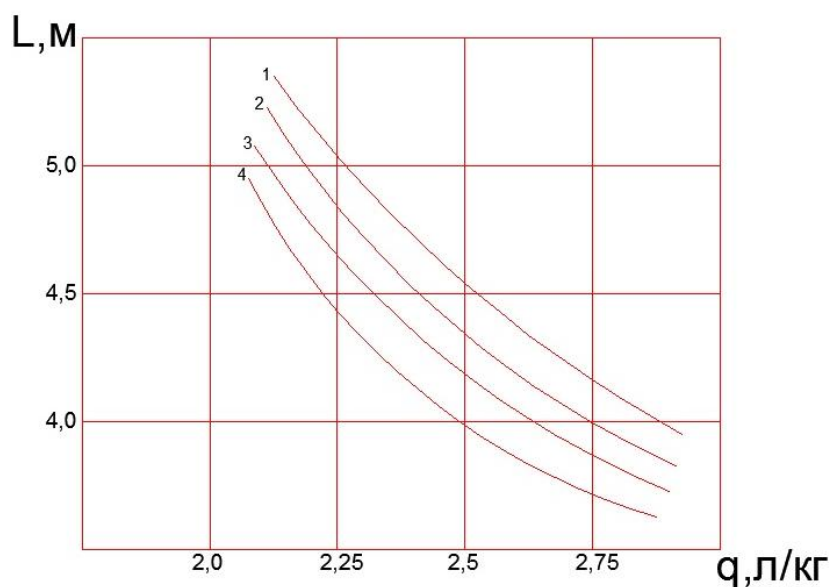


Рисунок 2.1 – Необходимая длина траектории водяных частиц (L) диаметром d = 0,5 мм для осаждения всех частиц пылевого облака (dr = 8 мкм) при его различном насыщении пылью (m) и степени орошения водой (q): 1 – m=0,4; 2 – m=0,45; 3 – m=0,5; 4 – m=0,55 г/м³.

2.2.1. Расчет траектории водяной капли

На рисунке 2.2 приведена расчетная схема траекторий водяной капли и положения пылевого облака применительно к размерам автосамосвала БелАЗ 7512 грузоподъемностью 120 т. Расчетные контуры пылевого облака показаны пунктирными линиями.

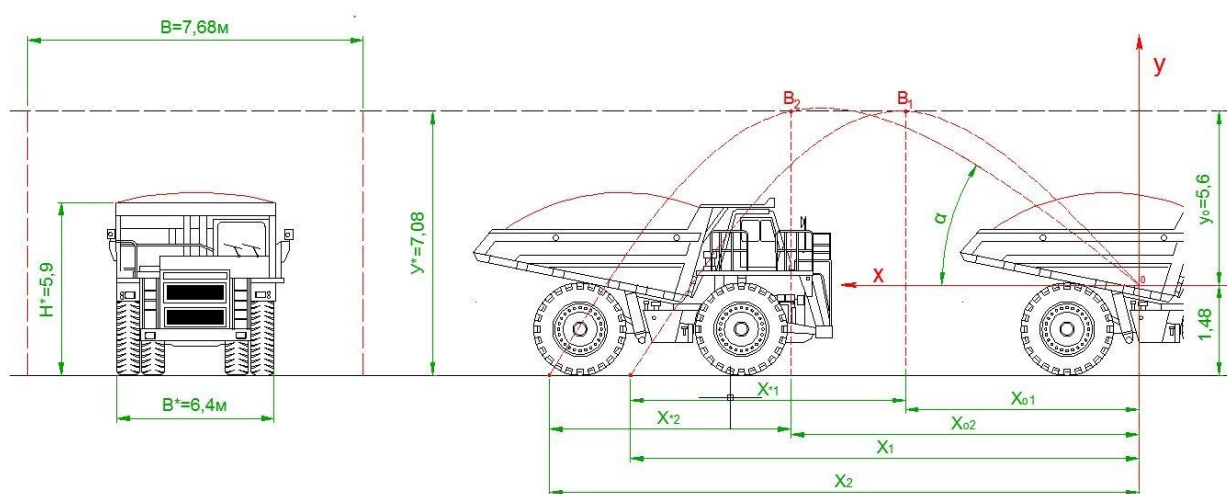


Рисунок 2.2 – Расчетные траектории капли воды при: 1- $\vartheta_A = 4,16(15\text{км/ч}$; 12- $\vartheta_A = 10\text{м/с}$ 36км/ч,

Для оценки количества «встреч» водяной капли с частицами пыли определим геометрические и кинематические показатели её траектории для различных случаев.

Скорость падения капель воды (ϑ_0) под действием сил тяжести $G = \rho_B g \pi d^3 / 6$ и аэродинамического сопротивления $R = \rho C_x S^2 v_0^2 / 2$ будет определяться по формуле:

$$\vartheta_0 = \sqrt{\frac{8 \cdot \rho_B \cdot g}{6 \cdot C_x \cdot \rho}} d, \text{ м/с} \quad (2.18)$$

где ρ_B – плотность воды, кг/м³;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

d – диаметр водяных частиц, м.

C_x – коэффициент лобового сопротивления частицы шаровидной формы, зависящий от числа $Re = \vartheta_0 \cdot d / \nu$ (ν – вязкость воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$).

Используя зависимость C_x от числа Re [1] при $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\rho = 1,16 \text{ кг/м}^3$ и $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, получаем формулу для практических расчетов скорости падения частиц воды в воздухе

$$\vartheta_0 = W \cdot d^{0,5}, \text{ м/с}, \quad (2.19)$$

где W – эмпирический коэффициент, зависящий от d .

По данным наших исследований его величина показана в таблице 2.3 и приведена на рисунке 2.3.

Таблица 2.3 – Зависимость коэффициента W и скорости падения частиц воды от их диаметра

$d, \text{ м}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,05 \cdot 10^{-3}$
W	127	91	34	14
$\vartheta_0, \text{ м/с}$	4,02	2,03	0,34	0,10

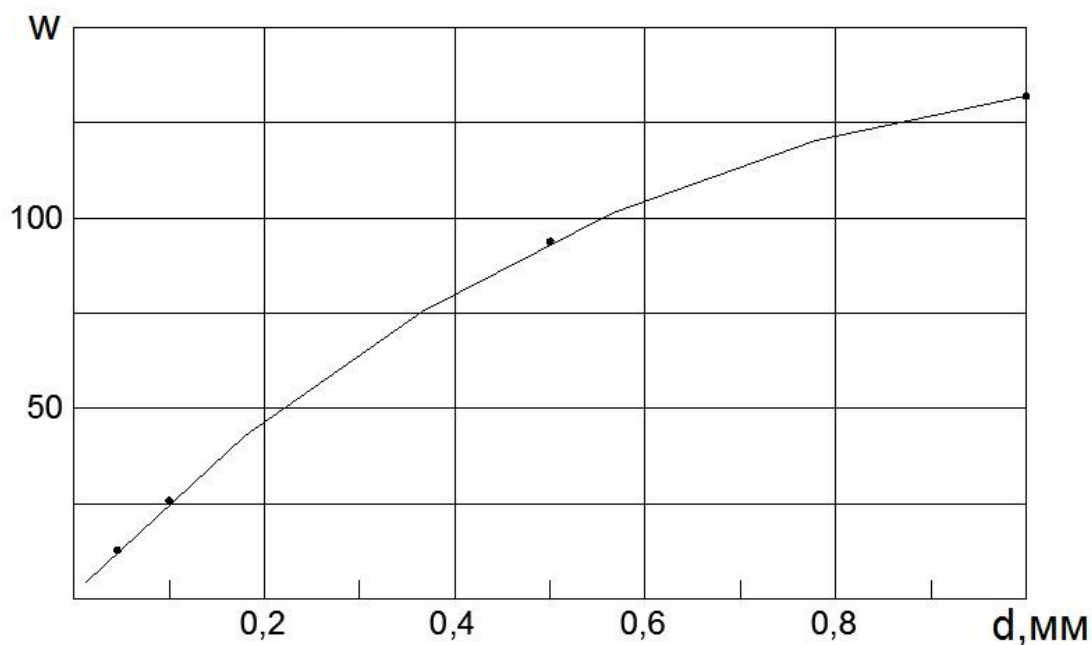


Рисунок 2.3- Изменения коэффициента W формулы (2.19) в зависимости от диаметра каплей d

Скорость вылета частицы воды из форсунки

$$U = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot P / \rho} ; \text{ м/с} \quad (2.20)$$

где P – давление воды перед форсункой, Па;

ρ – плотность воды, кг/м³;

φ – коэффициент скорости (для цилиндрического $\varphi = 0,82$)

Горизонтальная (U_x) и вертикальная (U_y) составляющие скорости U :

$$U_x = U \cdot \cos \alpha, \quad (2.21)$$

$$U_y = U \cdot \sin \alpha, \quad (2.22)$$

где α – угол установки оси форсунки к горизонту.

При движении автомобиля и форсунки со скоростью ϑ_A фактическая горизонтальная скорость частицы воды относительно неподвижной дороги будет

$$\vartheta_x = U_x - \vartheta_A, \quad (2.23)$$

а вертикальная скорость

$$\vartheta_y = U_y - \vartheta_0, \quad (2.24)$$

где ϑ_0 – скорость падения частицы воды под действием сил тяжести и аэродинамического сопротивления, определяемая по эмпирической формуле (2.16).

Из (2.20) и (2.21) с учетом (2.17), (2.18) и (2.16) получаем:

$$\vartheta_x = U \cdot \cos \alpha - \vartheta_A, \quad (2.25)$$

$$\vartheta_y = U \cdot \sin \alpha - \vartheta_0, \quad (2.26)$$

$U \cdot \cos \alpha = \vartheta_x + \vartheta_A$, $U = (\vartheta_x + \vartheta_A) / \cos \alpha$; подставляя это в (23), получим $\vartheta_y = \frac{(\vartheta_x + \vartheta_A) \sin \alpha}{\cos \alpha} - \vartheta_0$. Или $\vartheta_y = (\vartheta_x + \vartheta_A) \operatorname{tg} \alpha - \vartheta_0$. С учетом того, что $\operatorname{tg} \alpha = U_y / U_x = \vartheta_y / \vartheta_x$ будем иметь: $\vartheta_y = (\vartheta_x + \vartheta_A) \vartheta_y / \vartheta_x - \vartheta_0$. Откуда после преобразований получим:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\vartheta_y}{\vartheta_x}\right) = \arctg\left(\frac{\vartheta_0}{\vartheta_A}\right), \quad (2.27)$$

$$U_x = U \cdot \cos\alpha; \vartheta_x = U_x - \vartheta_A, \quad (2.28)$$

$$U_y = U \cdot \sin\alpha; \vartheta_y = U_y - \vartheta_0, \quad (2.29)$$

$$U = \varphi \sqrt{2 \cdot p_H / \rho}, \quad (2.30)$$

$$\vartheta = \sqrt{\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2}, \quad (2.31)$$

Принимая $p_H = 0,35$ МПа по вышеприведенным формулам вычислим кинематические параметры частиц воды диаметром $d = 1$ мм и $d = 0,5$ мм при движении автосамосвала со скоростью $\vartheta_A = 4,16$ м/с (15 км/ч – грузеный) и $\vartheta_A = 10$ м/с (36 км/ч – порожний).

а) При $d = 1$ мм ($1 \cdot 10^{-3}$ м) $\vartheta_0 = 4,02$ м/с и $\vartheta_A = 4,16$ м/с будем получать $U = 0,82 \sqrt{2 \cdot 350000 / 1000} = 21,7$ м/с; $\alpha = \arctg\left(\frac{4,02}{4,16}\right) = 44,0^\circ$;
 $U_x = 21,7 \cdot \cos 44^\circ = 15,61$ м/с; $\vartheta_{x15} = 15,61 - 4,16 = 11,45$ м/с;
 $U_y = 21,7 \cdot \sin 44^\circ = 15,07$ м/с; $\vartheta_{y15} = 15,07 - 4,02 = 11,05$ м/с;
 $\vartheta_{15} = \sqrt{11,45^2 + 11,05^2} = 15,91$ м/с.

б) При $d = 1$ мм ($1 \cdot 10^{-3}$ м), $\vartheta_0 = 4,02$ м/с и $\vartheta_A = 10$ м/с, оставляя неизменным угол установки форсунок 44° , векторы скоростей частиц воды при вылете из форсунок изменятся и будут равны:

$$\vartheta_x = 15,61 - 10 = 5,61 \text{ м/с}; \vartheta_y = 15,07 - 4,02 = 11,05 \text{ м/с};$$

$$\vartheta = \sqrt{5,61^2 + 11,05^2} = 12,39 \text{ м/с}; \alpha = \arctg(11,05/5,61) = 63,1^\circ.$$

На рисунке 2.4 – а сплошными линиями изображены векторы для грузеного, а пунктирными – для порожнего автомобиля.

Аналогичные вычисления для $d = 0,5$ мм дают:

а) При $d = 0,5\text{мм}$ ($0,5 \cdot 10^{-3}\text{м}$) $\vartheta_0 = 2,03\text{ м/с}$ и $\vartheta_A = 4,16\text{ м/с}$: $\alpha = \arctg(2,03/4,16) = 26^\circ$; $U_x = 21,7 \cdot \cos 26^\circ = 19,50\text{ м/с}$; $\vartheta_x = 19,50 - 4,16 = 15,34\text{ м/с}$; $U_y = 21,7 \cdot \sin 26^\circ = 9,15\text{ м/с}$; $\vartheta_y = 9,15 - 2,03 = 7,48\text{ м/с}$;

$$\vartheta = \sqrt{7,48^2 + 15,34^2} = 17,07\text{ м/с}.$$

б) При $d = 0,5\text{мм}$ ($0,5 \cdot 10^{-3}\text{м}$), $\vartheta_0 = 2,03\text{ м/с}$ и $\vartheta_{A*} = 10\text{ м/с}$, оставляя неизменным угол установки форсунок $\alpha = 26^\circ$, векторы ϑ_{x*} и ϑ_{y*} , а так же угол α_* будут равны:

$$\vartheta_{x*} = 19,5 - 10 = 9,50\text{ м/с}; \vartheta_{y*} = \vartheta_y = 9,51 - 2,03 = 7,48\text{ м/с};$$

$$\vartheta_* = \sqrt{9,50^2 + 7,48^2} = 12,09\text{ м/с}; \alpha_* = \arctg(\vartheta_{y*}/\vartheta_{x*}) = \arctg(7,48/9,50) = 38,2^\circ.$$

Вычисленные скорости и углы вылета α показаны на рисунке 2.4 и приведены в таблице 2.4.

Для определения длины траектории, пролетаемой каплей воды необходимо найти координаты (х,у) вершин парабол В1 и В2 (рисунок 2.2), которые в параметрической форме описываются уравнениями [6]:

$$x_1 = \vartheta_x \cdot t, \quad (2.32)$$

$$y = \vartheta_y \cdot t, \quad (2.33)$$

откуда

$$x = y \cdot \vartheta_x / \vartheta_y, \quad (2.34)$$

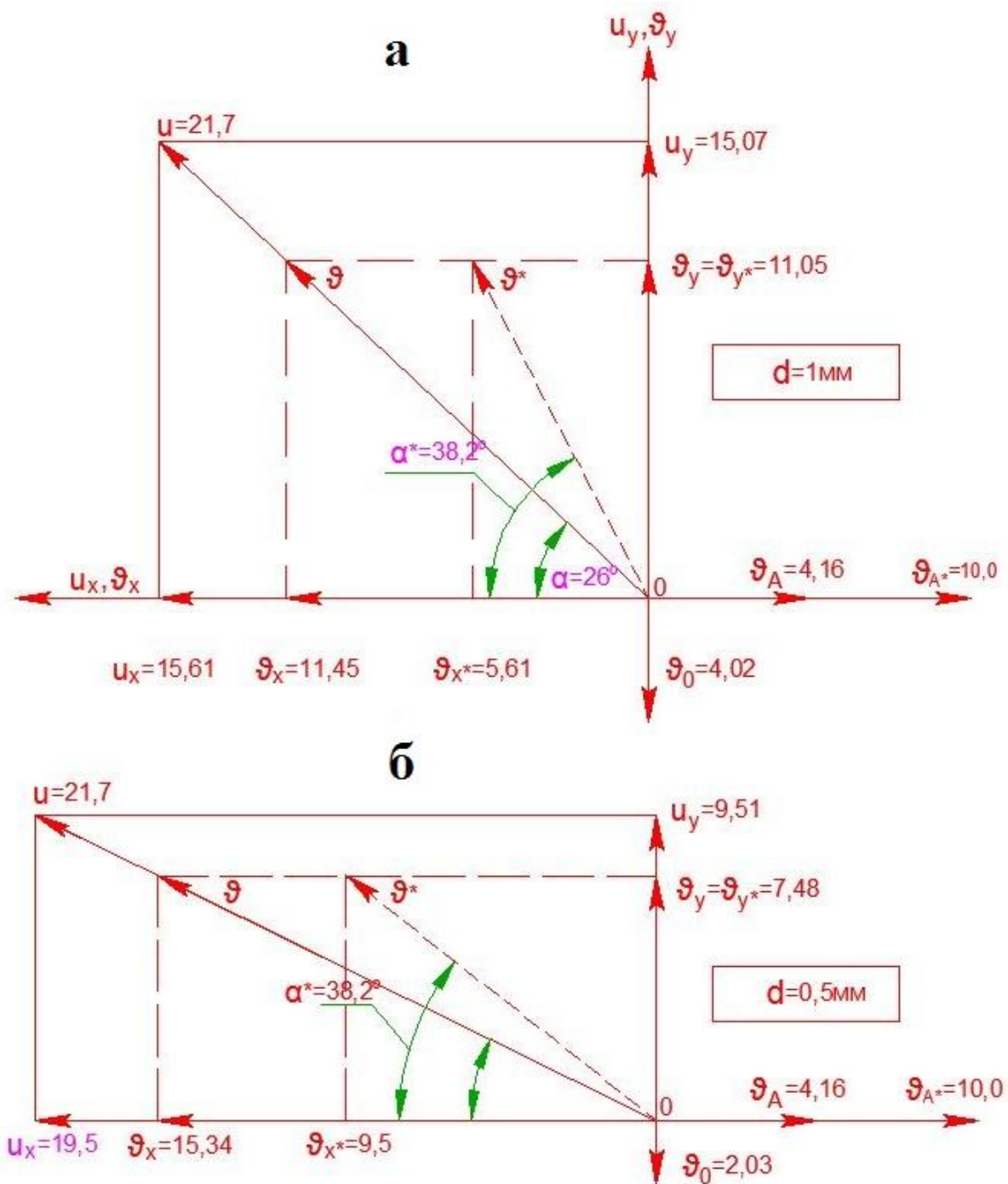


Рисунок 2.4 – Диаграммы скоростей капель воды при движении автомобиля со скоростью $\vartheta_A = 4,16$ м/с и $\vartheta_{A*} = 10$ м/с : а – диаметр капель 1 мм, б – 0,5 мм

Таблица 2.4 – Расчетные показатели движения капель диаметром 1,0 и 0,5 мм при скорости автосамосвала $\vartheta_A = 4,16$ и 10,0 м/с

Наименование показателей, их обозначения и размерности	Диаметр капель, мм			
	1,0		0,5	
	ϑ_A , м/с		ϑ_A , м/с	
	4,16	10,0	4,16	10,0
1. Скорость свободного падения капель	4,02	4,02	2,03	2,03
2. Скорость вылета капель из форсунки:				
- вертикальная (ϑ_y , м/с);	11,05	11,05	7,48	7,48
- горизонтальная (ϑ_x , м/с);	11,45	5,61	15,34	9,50
- результирующая (ϑ , м/с).	15,91	12,39	17,07	12,09
3. Угол вылета капель (α , град)	44 ⁰	63,1 ⁰	26 ⁰	38,2 ⁰
4. Координаты вершин траектории, м:				
- от форсунки: вверх (y_0)	5,60	5,60	5,60	5,60
вдоль дороги (x_{01})	5,80	2,84	11,48	7,11
-от дороги: вверх (y_*)	7,08	7,08	7,08	7,08
вдоль дороги (x_{*02})	7,34	3,59	14,52	8,99
5. Координата излета вдоль дороги (х,м)	13,14	6,43	26,00	16,10
6. Длина траектории капли (L,м)	18,77	14,22	28,92	20,49

При высоте подъема капли от форсунки до верхней границы пылевого облака $y = y_0 = 5,60$ м (рисунок 2.2) расстояние x_{01} правой ветви параболы составит

$$x_{01} = y_0 \cdot \frac{\vartheta_x}{\vartheta_y} = 5,60 \cdot \frac{11,45}{11,05} = 5,80 \text{ м},$$

а левой ветви параболы (x_{*1}) при $y = y_* = 5,60 + 1,48 = 7,08$ м будет:

$$x_{*1} = y_* \cdot \frac{\vartheta_x}{\vartheta_y} = 7,08 \cdot \frac{11,45}{11,05} = 7,34 \text{ м}.$$

Координата точки излета капли вдоль дороги при $\vartheta_A = 4,16$ м/с:

$$x = x_{01} + x_{*1} = 5,80 + 7,34 = 13,14 \text{ м}.$$

Аналогично определены другие координаты для капель диаметром 1,0 и 0,5 мм при движении груженого ($\vartheta_A = 4,16$ м/с) и порожнего автосамосвала ($\vartheta_A = 10,0$ м/с) – таблица 2.4.

3. ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

3.1. Расчет размеров и параметров модели

При расчете приняты аэродинамические показатели центробежного вентилятора ВР80-75 №3,15, используемого для создания потока воздуха в модели: производительность $V = 0,56 \text{ м}^3/\text{с}$, давление $P = 220 \text{ Па}$, КПД $\eta = 0,71$, мощность $0,25 \text{ кВт}$. Более подробные сведения о нём приведены на рисунке 3.5.

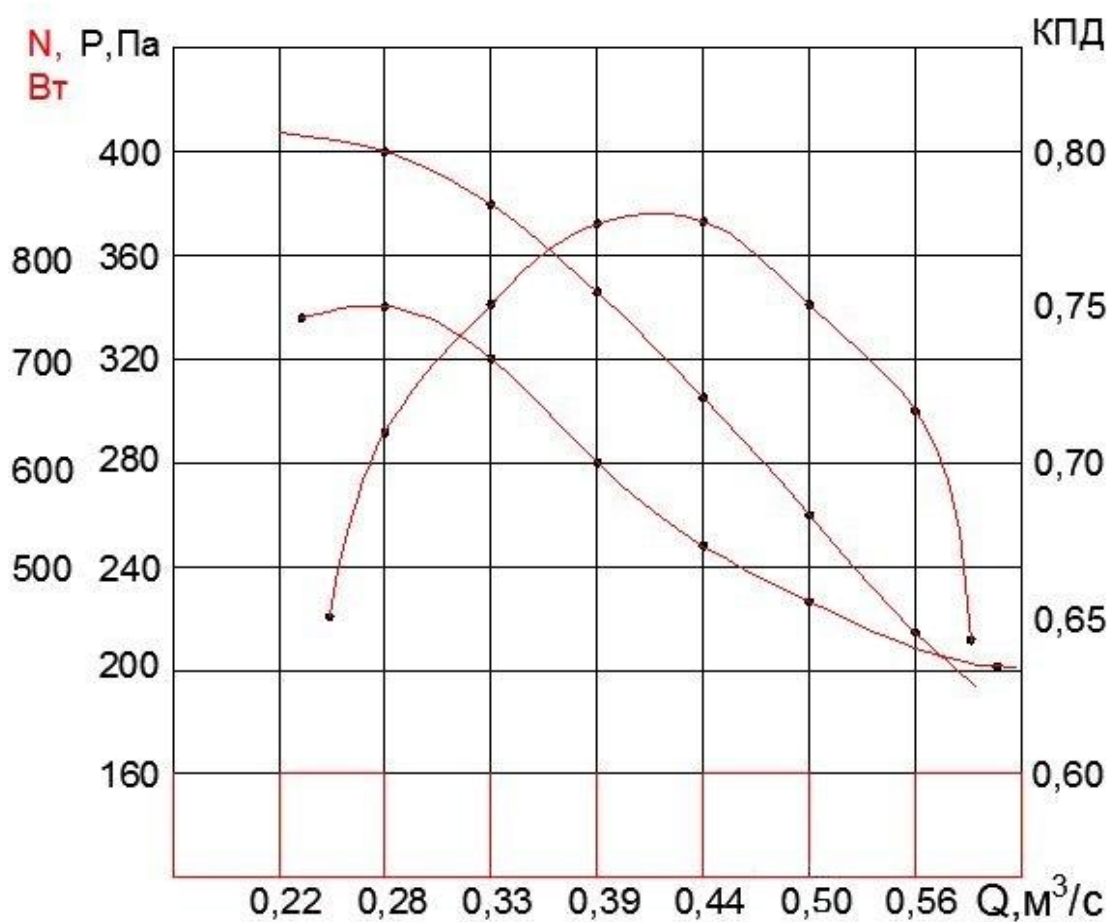


Рисунок 3.5 - Аэродинамическая характеристика вентилятора ВР80-75 №3,15

Максимальная скорость движения воздуха в канале модели принята $v_{max} = 10$ м/с, что соответствует максимальной скорости движения автосамосвала равной 36 км/ч.

Объем всего пылевого облака, образующегося за автосамосвалом при его пылеподавлении форсунками с диаметром капель 0,5мм:

$$W_H = B_H \cdot H_H \cdot x_H, \quad (3.1)$$

где $B_H = 7,68$ м, $H_H = 7,08$ м – ширина и высота пылевого облака;

$x_H = 6,26$ м – длина пылевого облака за кормой автосамосвала, орошенного водяными каплями

$$W_H = 7,68 \cdot 7,08 \cdot 6,26 = 337,72 \text{ м}^3.$$

Площадь поперечного сечения пылевого облака

$$S_H = B_H \cdot H_H = 7,68 \cdot 7,08 = 54,37 \text{ м}^2. \quad (3.2)$$

Расход воздуха за кормой автосамосвала при его движении со скоростью $v_A = 10$ м/с (36 км/ч)

$$V_H = S_H \cdot v_A = 54,37 \cdot 10 = 543,7 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход воздуха в модельном канале принимаем равным номинальной производительности принятого вентилятора ВР80-75 №3,15 $V_M = 0,56$ м³/с.

Скорость движения воздуха в модельном канале принимаем равной скорости в натурном процессе:

$$v_M = v_A = 10 \text{ м/с}.$$

Линейный масштаб моделирования M_L :

$$M_L = \sqrt[3]{V_H/V_M} = \sqrt[3]{543,7/0,56} = 9,09 \quad (3.3)$$

При содержании пыли в облаке $m = 0,5 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ ее масса в объеме $W_H = 337,72$ м³ составит:

$$\sum M_H = m \cdot W_H = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 337,72 = 0,169 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

На основании предварительных расчетов с учетом возможностей получения мелкодисперсной пыли длительность одного опыта в модельной установке была принята равной 5 минут (300с).

1. Интенсивность образования пыли в натурном облаке

$$M_H = V_H \cdot m = 543,7 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,272 \text{ кг/с} \quad (3.4)$$

При $V_M = 0,56 \text{ м}^3/\text{с}$, равной производительности вентилятора, подача пыли в модельную установку должна быть равной

$$M_M^{max} = V_M \cdot m = 0,56 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Это будет соответствовать максимальному содержанию пыли в пылевом натурном облаке, равном $m = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ и представлять верхний уровень фактора «Содержание пыли в облаке».

Нижний уровень этого фактора назначаем равным $m = 0,38 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, что в модельной установке будет соответствовать

$$M_M^{min} = 0,56 \cdot 0,38 \cdot 10^{-3} = 0,213 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Для среднего значения (основной уровень фактора) расход пыли в модели составит

$$M_M^{cp} = (0,213 + 0,28) \cdot 10^{-3} / 2 = 0,246 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

При длительности каждого из двух повторений опытов, равной 300 секунд (5 минут), расход пылевого вещества разных дисперсий приведен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Расчетный расход пылевого вещества по размерам (дисперсностью) пылинок

Дисперсность пылинок X_3 (мм)	Номера опытов	Расход пыли, г		
		На одно повторение двух опытов по 300с	На два повторения двух опытов по 300с	Всего на 4 опыта с двумя повторения ми
0,02 (0,040...0)	1;3 (по 0,213г/с)	63,9	127,8	295,8
	2;4 (по 0,28г/с)	84,0	168,0	
0,056 (0,071...0,04)	5;7 (по 0,213г/с)	63,9	127,8	295,8
	6;8 (по 0,28г/с)	84,0	168,0	

2. Расчетный расход воды, распыляемой в модельной установке, составит:

$$Q = q \cdot M_m; \text{м}^3/\text{с} \quad (3.5)$$

- при удельном расходе воды $q = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ на 1 кг пыли:

$$Q_{H_2O 1}^{max} = 2,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,28 \cdot 10^{-3} = 0,784 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$$

- при $q = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ на 1 кг пыли:

$$Q_{H_2O 2}^{min} = 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,28 \cdot 10^{-3} = 0,392 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$$

- при среднем значении $q = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ на 1 кг пыли (основной уровень):

$$Q_{H_2O} = 2,1 \cdot 0,28 \cdot 10^{-3} = 0,588 \cdot 10^{-6} \text{ л/с}$$

Путем многократных испытаний с измерением расхода воды через распылители были определены их режимные параметры близкие к расчетным, показанным выше, а именно:

-для верхнего уровня: $p=2,0$ бар, три форсунки $d_0 = 0,3\text{мм}$; это обеспечивало 273 мл за 5 минут, т.е $237 \cdot 10^{-6}/300 = 0,79 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$;

-для нижнего уровня: $p=1,6$ бар, две форсунки $d_0 = 0,3\text{мм}$; это обеспечивало 135мл за 5 мин, т.е. $135 \cdot 10^{-6}/300 = 0,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$;

Для сравнения расчетные (x_{2*}) и фактические (x_2) значения уровня фактора x_2 приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – уровни фактора x_2 – «Расход распыляемой воды»

Уровни фактора x_2	Расход распыляемой воды, $\text{м}^3/\text{с}$ (мл/с)	
	Расчетный	Фактический в опытах
Верхний	$0,784 \cdot 10^{-6}$ (0,784)	$0,790 \cdot 10^{-6}$ (0,790)
Нижний	$0,392 \cdot 10^{-6}$ (0,392)	$0,450 \cdot 10^{-6}$ (0,450)
Основной	$0,588 \cdot 10^{-6}$ (0,588)	$0,620 \cdot 10^{-6}$ (0,620)

3. Третьим важнейшим фактором процесса пылеподавления является дисперсность пыли – размер частиц в пылевом облаке. На основании данных литературных источников [4] и др. с учетом технических возможностей получения пылевого материала для моделирования было назначено два уровня этого фактора: частицы размером 0,073мм ($\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$)

Используя линейный масштаб моделирования $M_L = 9,09$, находим предварительные размеры модели:

- высота $H_M^* = H_H/M_L = 7,08/9,09 = 0,779\text{м}$,
- ширина $B_M^* = B_H/M_L = 7,68/9,09 = 0,844\text{м}$,
- длина $x_M^* = x_H/M_L = 6,26/9,09 = 0,692\text{м}$.

При гетерогенном характере пылевого облака в модели с целью уменьшения ее размеров принимаем ширину модели в 8 раз меньше расчетной, т.е.:

$$B_M = 0,844/8 = 0,105\text{м}.$$

Тогда, при подаче вентилятора $V_M = 0,56 \text{ м}^3/\text{с}$ и скорости движения воздуха $\vartheta_M = \vartheta_H = \vartheta_A = 10 \text{ м/с}$ сечение модели должно быть равно

$$S_M = V_M/\vartheta_M = 0,56/10 = 0,056 \text{ м}^2.$$

Откуда размер H_M будет равен:

$$H_M = S_M/B_M = 0,056/0,105 = 0,53 \text{ м}.$$

Продольный размер $x_M = x_H/M_L = 6,26/9,09 = 0,689\text{м}$. С учетом расположения форсунок в зоне пылеподавления действительный размер x_M принят равным $x_M = 0,93$

На рисунке 3.6 показана камера пылеподавления модельной установки с обозначением всех ее элементов.

При изготовлении распылителей были получены круглые отверстия диаметром $d_0 = 0,30$ (три распылителя).

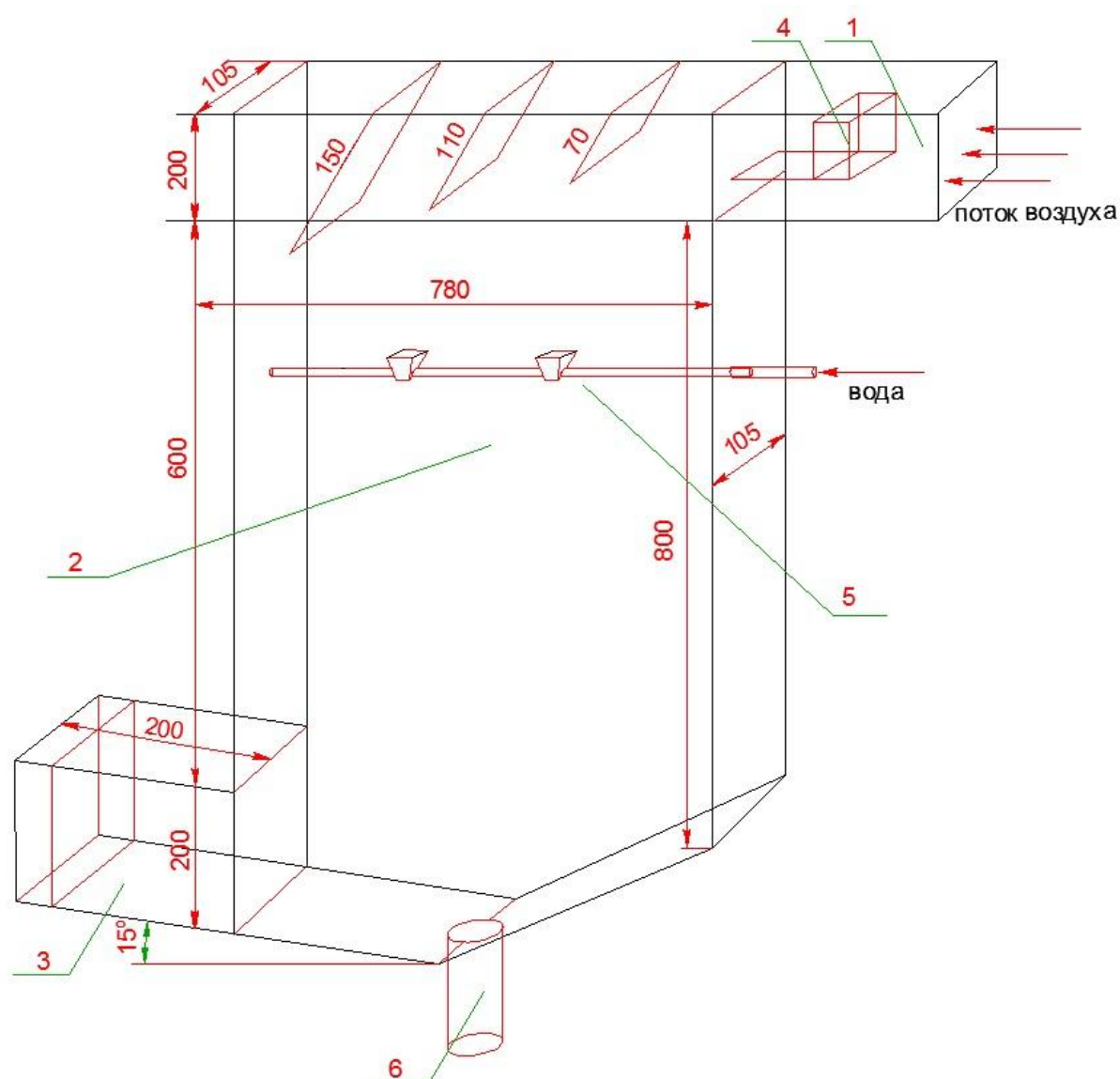


Рисунок 3.6 - Камера пылеподавления модельной установки: 1- подводящий канал от вентилятора; 2- камера пылеподавления; 3- выходной канал; 4 генератор пыли (распылитель), 5- форсунки; 6- пылеводоприемник.

3.2. Планирование эксперимента

Целью экспериментальных исследований на модельной установке является определение эффективности пылеподавления пылевого облака, возникающего при движении автосамосвала. Эффективность этого процесса зависит от многих факторов.

На основании предварительных исследований и изучения параметров пылеобразования и пылеподавления в производственных условиях по литературным источникам в данной работе были назначены следующие факторы и их уровни:

Первый фактор – «Интенсивность подачи пыли» в камеру пылеподавления – x_1 (г/с). Верхний уровень + $x_1 = 0,280$ г/с; нижний уровень – $x_1 = 0,213$ г/с; основной уровень $x_1 = 0,246$ г/с. Интервал варьирования $\Delta x_1 = 0,067$ г/с.

Второй фактор – «расход распыляемой воды» на пылеподавление – x_2 (мл/с). Верхний уровень + $x_2 = 0,784$ мл/с; нижний уровень – $x_2 = 0,392$ мл/с; основной уровень $x_2 = 0,588$ мл/с. Интервал варьирования $\Delta x_2 = 0,196$ мл/с.

Третий фактор – «Дисперсность пыли», подаваемой в камеру пылеподавления – x_3 (мм), - был назначен один уровень $x_3 = 0,073$ мм.

Отметим, что все три фактора являются управляемыми и контролируемыми.

С учетом рассматриваемого в данной работе вопроса (индивидуальное пылеподавление автосамосвалом) в качестве критерия эффективности был принят коэффициент пылеподавления K , равный отношению веса подавленной (смоченной) пыли $M_{\text{под}}$ к весу поступившей в камеру пыли $M_{\text{нач}}$.

$$K = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{нач}}} = \frac{M_{\text{нач}} - \Delta M}{M_{\text{нач}}}, \quad (3.6)$$

где $M_{\text{нач}}$ – масса поступившей пыли в установку за время опыта, г;

M_{Π} – масса подавленной пыли водяным туманом за время опыта, г;

ΔM – масса пыли не подавленной в камере орошения, г.

Коэффициент пылеподавления, вычисленный по (3.6) записывался в колонки « y_1 », « y_2 » (функция отклика) матрицы эксперимента.

Порядок выполнения опытов

Выполнялось две серии опытов.

В первой серии отрабатывалась работоспособность всей установки в целом и её отдельных элементов.

Узел подачи пыли в камеру установки настраивался так, что в каждом из 4-х опытов подавалось одинаковое количество пыли 0,213 г/с и 0,279 г/с (соответственно по 63,9 и 84,0 г пыли за одно повторение опыта) – эти данные показаны в таблице 3.7.

Узел подачи распыленной воды представлял из себя тонкостенную металлическую трубку внутренним диаметром 6 мм, в которой по образующей были выполнены отверстия $\varnothing 4$ мм. Эти отверстия герметично укрывались алюминиевой фольгой с отверстием $d_o = 0,30$ мм. Путем тарировки через них устанавливались расходы воды по 0,235 л и 0,117 л за время опыта 300с.

Узел подачи распыленной воды представлен на рисунке 3.7

Дисперсность пыли была принята $d=0,073$ мм – на основе рассеивания по фракциям стандартного глинозёма.

Измерение массы пыли подавленной в камере орошения (ΔM) осуществлялось следующим образом: поток воздуха совместно с частицами пыли проходя через камеру пылеподавления в выходной канал взаимодействовал с водяным туманом; осаждённые частицы пыли совместно с водой собирались в водоприемнике. Далее в специальных емкостях частицы пыли осаждались, отстаивались и выпаривались. После чего высушенный осадок пыли взвешивался на электронных весах.

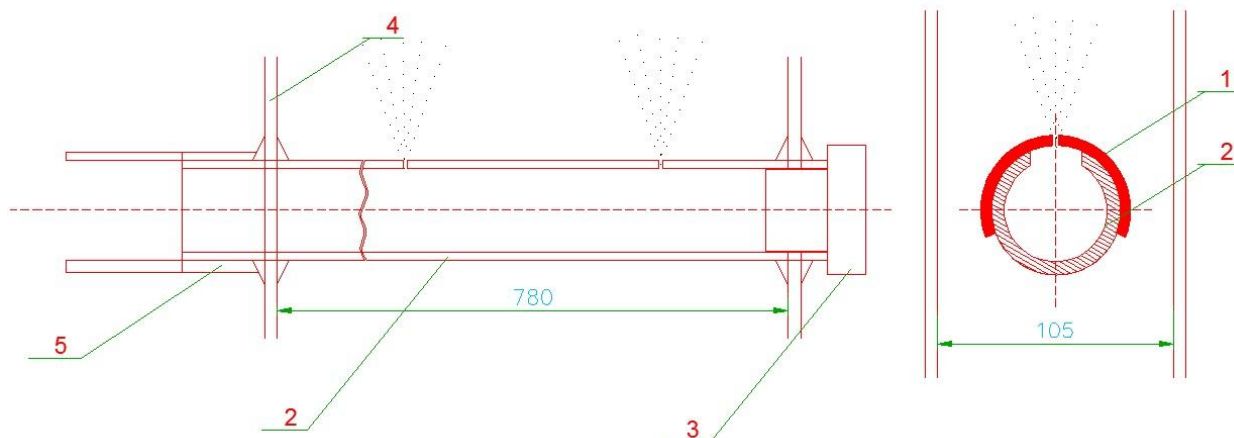


Рисунок 3.7 - Узел подачи распыленной воды: 1- алюминиевой фольга с отверстием; 2- тонкостенная металлическая трубка; 3-пробка; 4- камера пылеподавления; 5- гибкий трубопровод

Расход воды во время опытов устанавливался и поддерживался постоянным путем установки по манометру необходимого давления в соответствии с предварительными табличными испытаниями. Так, например, при диаметре распылителя 0,30 мм для получения расхода 0,790 мл/с (верхний уровень) необходимо давление перед распылителем установить равным 2,0 бар (с тремя распылителями), а для $Q=0,45$ мл/с – два распылителя (0,3 мм) при давлении 1,6 бар.

После выполнения каждого из повторений опытов вычислялись и записывались коэффициенты пылеподавления «K» в соответствующие столбцы матрицы.

Таблица 3.8 – Матрица эксперимента

Условия планирования эксперимента		x_0	Планирование		Параметр оптимизации		
			x_1	x_2	K'	K''	\bar{K}
Основной уровень			0,246	0,620			
Интервал варьирования							
x_1			0,033				
x_2				0,17			
Верхний уровень (+1)			0,279	0,790			
Нижний уровень (-1)			0,213	0,450			
Порядок реализации (повторения)							
I	II						
1	3	+1	-1	-1	0,87	0,95	0,91
2	1	+1	+1	-1	0,89	0,88	0,89
3	4	+1	-1	+1	0,85	0,93	0,89
4	2	+1	+1	+1	0,93	0,97	0,95
Коэффициенты уравнения регрессии		b_0	b_2	b_3			

3.3. Обработка и анализ опытных данных

Аналитическую зависимость коэффициента пылеподавления «K» от интенсивности подачи пыли «M» и степени орошения «Q» в кодированной записи будем искать в виде:

$$\hat{K} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (3.7)$$

где b_1 и b_2 – коэффициенты, величина которых показывает влияние факторов M (кг/с) и Q (м³/с) на коэффициент пылеподавления K,

b_0 – среднее значение K из 8 измерений ($b_0 = 0,91$)

Величины b_1 , b_2 , и b_0 определяем следующим образом:

$$b_0 = (0,91 + 0,89 + 0,89 + 0,95)/4 = 0,91$$

$$b_1 = (-1 \cdot 0,91 + 1 \cdot 0,89 - 1 \cdot 0,89 + 1 \cdot 0,95)/4 = 0,01$$

$$b_2 = (-1 \cdot 0,91 - 1 \cdot 0,89 + 1 \cdot 0,89 + 1 \cdot 0,95)/4 = 0,01$$

Таким образом, кодированная запись математической модели пылеподавления будет иметь вид:

$$K = 0,91 + 0,01 \cdot x_1 + 0,01 \cdot x_2 \quad (3.8)$$

Для оценки значимости полученных коэффициентов найдем посторонние дисперсии по обеим формулам

$$S_i^2 = \sum_{i=1}^N (K_i - \bar{K}) / (N - 1), \quad (3.9)$$

где N – число повторений опытов на одном режиме пылеподавления ($N=2$).

$$S_1^2 = [(0,87 - 0,91)^2 + (0,95 - 0,91)^2] / (2 - 1) = 0,0032$$

$$S_2^2 = [(0,89 - 0,89)^2 + (0,88 - 0,89)^2] / (2 - 1) = 0,0001$$

$$S_3 = [(0,85 - 0,89)^2 + (0,93 - 0,89)^2] / (2 - 1) = 0,0032$$

$$S_3 = [(0,93 - 0,95)^2 + (0,97 - 0,95)^2] / (2 - 1) = 0,0008$$

Дисперсия всех опытов:

$$S_K^2 = (0,0032 + 0,0001 + 0,0032 + 0,0008) / 4 = 0,0073$$

Число степеней свободы для этой дисперсии

$$f = N^* (N - 1) = 4(2 - 1) = 4$$

где N^* – число опытов ($N^* = 4$).

Для уровня значимости $d = 0,95$ и $f = 4$ критерий Стьюдента $t = 2,13$ [9]. Тогда доверительный интервал для коэффициентов b_0 b_1 b_2 будет равен:

$$\Delta b_j = t \cdot \sqrt{S_K^2 / (N \cdot N^*)} = 2,13 \sqrt{0,0073 / (2 \cdot 4)} = 0,064 \quad (3.10)$$

Сравнение этого интервала с коэффициентами уравнения (3.10) показывает, что влияние этих коэффициентов на величину функций отклика (K) является слабым. Тем не менее, мы их составляем для дальнейших рассуждений и выводов.

По уравнению (3.10) находим расчетные значения K :

$$\widetilde{K}_1 = 0,91 - 1 \cdot 0,01 - 1 \cdot 0,01 = 0,89$$

$$\widetilde{K}_2 = 0,91 + 1 \cdot 0,01 - 1 \cdot 0,01 = 0,91$$

$$\widetilde{K}_3 = 0,91 - 1 \cdot 0,01 + 1 \cdot 0,01 = 0,91$$

$$\widetilde{K}_4 = 0,91 + 1 \cdot 0,01 + 1 \cdot 0,01 = 0,93$$

Дисперсию адекватности определяем по формуле

$$S_{ад}^2 = \left[N \sum (\bar{K}_i - \bar{K})^2 \right] / (N^* - N)$$

$$S_{ад}^2 = \frac{2[(0,91 - 0,89)^2 + (0,89 - 0,91)^2 + (0,89 - 0,91)^2 + (0,93)^2]}{4 - 2} = 0,0008$$

Расчетное значение критерия Фишера:

$$F = S_{ад}^2 / S_{к}^2 = 0,0008 / 0,0073 = 0,110$$

Табличное значение этого критерия ($F_{таб}$) при уровне значимости $d = 0,05$ и степенях свободы 2 и 4, $F_{таб} = 6,94$. Так как $F < F_{таб}$, то модель адекватно описывает экспериментальные данные.

На рисунке (3.8) представлена графическая зависимость коэффициента пылеподавления K , построенная в соответствии с аналитическим уравнением (3.8). Описываемая этим уравнением поверхность функции отклика (K) представляет собой в пространстве наклонную плоскость.

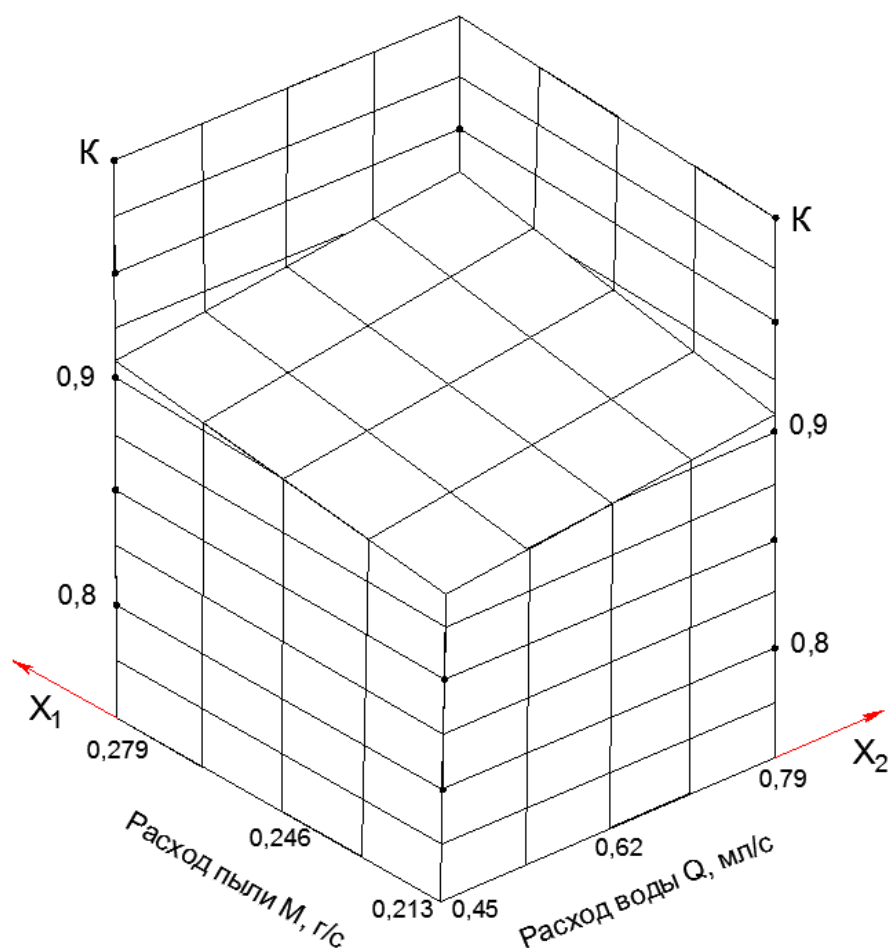


Рисунок 3.8 – Зависимость коэффициента K от расхода пыли (M) и воды (Q) в камере.

Анализ полученной математической модели и графическая зависимость для исследованных диапазонов изменений M и Q показывает, что:

- а) математическая модель $K = f(M, Q)$ – линейная,
- б) на коэффициент пылеподавления K равнозначно влияют как расход воды Q ,
- в) с ростом запыленности M и подачи распыляемой воды коэффициент K возрастает

г) снижение расхода распыляемой воды в 1,75 раза (с 0,079мл/с до 0,45мл/с) дает незначительное снижение эффективности пылеподавления – с 0,91 до 0,89 т.е. всего на 2%.

4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1. Меры безопасности при выемке и погрузке горной массы в транспортные сосуды

Высота уступа определяется проектом с учетом физико-механических свойств горных пород и полезного ископаемого, а также горнотехнических условий их залегания.

Допускается отработка уступов высотой до 30 м послойно, при этом высота забоя не должна превышать максимальной высоты черпания экскаватора.

Высота уступа не должна превышать:

а) при разработке одноковшовыми экскаваторами (типа прямой механической лопаты) без применения взрывных работ – высоту черпания экскаватора ($H_y \leq H_{ч}$);

б) при разработке драглайнами, многоковшовыми и роторными экскаваторами – высоту или глубину черпания экскаватора;

в) при разработке вручную рыхлых и сыпучих пород – 3 м, мягких, но устойчивых, а также крепких монолитных пород – 6 м. При отработке мелкотрещиноватых пород и руд с применением БВР допускается увеличение высота забоя до полуторной высоты черпания ($H_z \leq 1,5 H_{ч}$). В этих случаях следует осуществлять дополнительные меры, препятствующие произвольному обрушению козырьков и навесей.

Углы откосов рабочих уступов не должны превышать:

а) для мехлопаты и драглайна – 80°;

б) при работе роторных экскаваторов – 80°;

в) при работе многоковшовых цепных экскаваторов нижним черпанием – не более угла естественного откоса этих пород.

Горное и транспортное оборудование, транспортные коммуникации, линии электроснабжения и связи должны располагаться на рабочих площадках уступов за пределами призмы обрушения.

Расстояние от подошвы развала (нижней бровки уступа) до оси ближайшего ж/д пути или автодороги должно быть не менее 2,5 м.

При отработке уступов экскаваторами с верхней погрузкой расстояние от бровки уступа до оси ж/д пути или автодороги устанавливается проектом, но должно быть не менее 2,5 м. Высота уступа (подуста), разрабатываемого мехлопатор при верхней погрузке, должна обеспечивать видимость транспортных средств из кабины машиниста экскаватора.

Погрузка думпкаров производится согласно паспорта. Односторонняя, сверхгабаритная, а также превышающая грузоподъемность загрузка вагонов не допускается.

Подача и передвижение ж/д составов вдоль забоя в процессе погрузки должна производиться только по разрешающим сигналам машиниста экскаватора

Погрузка экскаваторами типа драглайна в ж/д думпкары или другие емкости допускается при осуществлении мероприятий по безопасным методам работы, утвержденных руководством предприятия и наличии защиты от прикосновения ковшом контактного провода тяговой сети.

При погрузке в средства автомобильного и ж/д транспорта машинистом экскаватора должны подаваться сигналы, значения которых устанавливается администрацией. Таблица сигналов должна быть вывешена на кузове экскаватора на видном месте и с ней должны быть ознакомлены машинисты локомотивов и водители транспортных средств.

Запрещается во время работы экскаватора пребывание людей (включая и обслуживающий персонал) в зоне действия ковша.

4.2. Меры безопасности при эксплуатации автотранспорта

Проектирование, строительство и реконструкция автомобильных дорог (как наземных, так и внутрикарьерных) должны осуществляться с соблюдением требований СНиП в части обеспечения безопасности дорожного движения. В соответствии с Законом «О безопасности дорожного движения» от 10.12.1995 N 196-ФЗ ответственность за соответствие дорог установленным требованиям по безопасности дорожного движения в части плана и профиля на этапе проектирования возлагается на проектировщика, а на этапах эксплуатации, реконструкции и строительства - на руководителя предприятия (организации), в ведении которого находятся эти дороги.

Временные въезды в траншеи должны устраиваться так, чтобы вдоль их при движении транспорта оставался свободный проход шириной не менее 1,5 м. При затяжных уклонах дорог (i более 0,06) должны устраиваться горизонтальные площадки с уклоном i меньше 0,02, длиной не менее 50 м и не более чем через 600 м длины затяжного уклона.

В особо стесненных условиях на внутрикарьерных и отвалных дорогах радиусы кривых в плане должны быть не менее 2-х конструктивных радиусов поворота автомобиля по наружному колесу (для тягача с полуприцепом – радиус кривой должен быть равен не менее 3-х радиусов поворота).

Проезжая часть дороги внутри контура карьера должна быть ограждена от призмы обрушения земляным валом или защитной стенкой, при этом внутренняя бровка вала должна быть вне призмы обрушения.

В зимнее время автодороги должны систематически очищаться от снега и льда и посыпаться песком, шлаком или мелким щебнем.

Автомобиль должен быть технически исправным и иметь зеркало заднего вида, действующую световую и звуковую сигнализацию, освещение и исправные тормоза.

Скорость и порядок движения автомобилей на дорогах карьера устанавливаются администрацией предприятия с учетом местных условий, качества дорог и состояния транспортных средств.

Буксировка неисправных автосамосвалов грузоподъемностью больше 15 т должна осуществляться специальными тягачами.

Запрещается оставлять на проезжей части дорог неисправные автосамосвалы (допускается кратковременное оставление автотранспорта в случае его аварийной поломки при ограждении автомобиля с двух сторон предупредительными знаками).

Шиномонтажные работы должны осуществляться в отдельных местах или на специальных участках. Контроль за техническим состоянием, соблюдением ПДД должны обеспечиваться автохозяйством.

Разовый заезд в карьер автомобилей другого предприятия допускается только с разрешения администрации карьера, после инструктажа с записью в журнал.

Инструктирование по ТБ производится администрацией карьера совместно с администрацией автохозяйства, и после практического ознакомления с маршрутами движения должны выдаваться удостоверения на право работы в карьере. На карьерных автомобильных дорогах движение автомашин должно производиться без обгона.

При погрузке автомобилей экскаваторами должны выполняться следующие условия:

а) ожидающий погрузки автомобиль должен находиться за пределами радиуса действия экскаваторного ковша и становиться под погрузку только после разрешающего сигнала машиниста экскаватора;

б) находящийся под погрузкой автомобиль должен быть заторможен;

в) погрузка в кузов должна производиться только сбоку или сзади, запрещается перенос экскаваторного ковша над кабиной автомобиля.

г) нагруженный автомобиль должен следовать к пункту разгрузки только после разрешающего сигнала машиниста экскаватора.

При отсутствии защитного козырька водитель грузовика обязан выйти при погрузке из кабины и находиться за пределами радиуса действия ковша экскаватора.

При работе автосамосвала в карьере запрещается:

- а) движение автосамосвала с поднятым кузовом;
- б) ремонт и разгрузка под ЛЭП;
- в) движение задним ходом к месту погрузки на расстояние более 30 м (за исключением случаев проведения траншей);
- г) переезжать через кабели, проложенные по почве без специальных предохранительных укрытий;
- д) перевозить посторонних людей в кабине;
- е) оставлять автомобили на уклонах и подъемах;
- ж) производить запуск двигателя, используя движение автомобиля под уклон.

Во всех случаях при движении автосамосвала задним ходом должен подаваться непрерывный звуковой сигнал (при грузоподъемности больше 10 т должна быть автоматическая подача звукового сигнала).

4.3. Меры безопасности при автомобильном отвалообразовании

Проезжие дороги должны располагаться за пределами границ скатывания кусков породы с отвалов. На отвалах должны вывешиваться предупредительные надписи об опасности нахождения людей на откосах отвалов.

Автомобили должны разгружаться в местах, предусмотренных паспортом, за возможной призмой обрушения породы. Подъезд задним ходом разрешается только перпендикулярно к бровке.

На бульдозерных отвалах площадка должна иметь поперечный уклон не менее 3° по направлению от бровки откоса в глубину отвала. По всей протяженности бровки следует иметь породную отсыпку

(предохранительный вал, стенку) высотой не менее 0,7 м для автосамосвалов грузоподъемностью до 10 т, и не менее 1 м при грузоподъемности более 10 т.

При отсутствии предохранительной стенки запрещается подъезжать к бровке ближе чем на 3 м для автосамосвалов грузоподъемностью до 10 т, и ближе чем на 5 м для автосамосвалов с грузоподъемностью более 10 т.

При планировке отвала бульдозером подъезд его к бровке откоса разрешается только ножом вперед. Подавать задним ходом бульдозер к бровке запрещается. Вне призмы обрушения допускается перемещение вдоль предохранительного вала.

Запрещается производить разгрузку автосамосвалов на отвале при появлении трещин и проседаний на поверхности разгрузочной площадки (об этом водитель должен немедленно сообщить начальнику смены карьера).

Работа в секторе должна производиться в соответствии с паспортом и регулироваться специальными знаками и аншлагами (На отвалах могут применяться знаки: “Разгружать здесь” — зеленого цвета, стреловидной формы, устанавливаемый в начале и в конце сектора разгрузки; “Подъезд не ближе 5 м” — желтого цвета, стреловидной формы, устанавливаемый там же; “Разгрузка запрещена” — красного цвета, прямоугольной формы, устанавливаемый в местах запрещения разгрузки).

Запрещается одновременная работа в одном секторе бульдозера и автосамосвалов с экскаватором (на нижележащем горизонте, ярусе).

Расстояние между стоящими на разгрузке и проезжающими транспортными средствами должно быть не менее 5 м.

Запрещается: устройство контактной сети на эстакаде; нахождение людей и производство каких-либо работ на разгрузочной площадке в рабочей зоне автосамосвала и бульдозера. Во всех случаях люди должны находиться от механизмов не ближе 5 м.

4.4. Противопожарные требования техника безопасности при работе автотранспорта и экскаваторов

Расстановка автосамосвалов в помещениях, под навесами или на специальных площадках для безгаражного хранения должна производиться в соответствии с нормами, обеспечивающими безопасность их выезда.

Запрещается производить ремонт автомобилей с баками, наполненными горючим.

Помещения и площадки для открытого хранения автомобилей нельзя загромождать предметами и оборудованием, которые могут препятствовать быстрой эвакуации автомобилей в случае пожара. Против запасных ворот устанавливают только исправные автомобили. Автомобили, ожидающие ремонта или списания, необходимо хранить отдельно – изолировано от исправных.

В помещениях для хранения автомобилей нельзя пользоваться открытым огнем, паяльными лампами, сварочными аппаратами. Для курения должны быть оборудованы специальные места.

Использованные промасленные обтирочные материалы необходимо собирать в стальные ящики с плотными крышками и в конце каждой смены выносить из цеха для вывоза или сжигания.

Необходимо регулярно контролировать исправность кабелей и электропроводки, не допускать перегрева в электрощитах. Электроаппаратура для взрывоопасных помещений должна удовлетворять условиям взрывозащищенности.

Запрещается эксплуатировать автомобиль, имеющий подтекание масел и топлива, с неисправным электрооборудованием и электропроводкой.

При пользовании пусковым подогревателем нельзя отлучаться от автомобиля, допускать замасливания или подтекания топлива в подогревателе. При работе с подогревателем необходимо соблюдать осторожность в связи с возможным выбросом пламени. В случае

возникновения пожара немедленно выключают подогреватель и перекрывают кран подачи к нему топлива, затем приступают к тушению пожара. Пуск подогревателя без охлаждающей жидкости в котле запрещается. Нельзя пускать подогреватель сразу после его остановки без предварительной продувки в течение 3—5 мин. После разогрева двигателя сначала выключают подогреватель и только после этого запускают двигатель.

При замерзании конденсата следует отогреть воздушный баллон и влагомаслоотделитель тряпками, смоченными в горячей воде, но не открытым огнем.

Запрещается пользоваться открытым пламенем для просушивания фильтрующего элемента воздушного фильтра.

Особые меры предосторожности необходимо соблюдать при выполнении сварочных работ на автомобиле.

Все автомобили должны быть укомплектованы исправными огнетушителями.

Топливо и смазочные материалы хранят с соблюдением всех противопожарных правил.

Открытые склады горючего должны находиться на расстоянии не менее 20 м от места работы экскаватора.

Хранить в кабине бензин, керосин и другие легковоспламеняющиеся вещества запрещается.

Масляные тряпки и обтирочные концы складывают в специальные железные ящики с крышками и по мере наполнения ящиков удаляют.

Категорически запрещается подогревать двигатель внутреннего сгорания зимой непосредственно огнем.

Куриль при заправке горючими и смазочными маслами и при контрольном осмотре топливных баков и двигателей запрещается.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В разделе «Экономика» рассчитан сетевой график выполнения работ и составлена смета затрат на изготовление стенда «Физическая модель вентиляционного комплекса проветривания глубоких карьеров».

5.1. График сетевого планирования дипломной работы

Работа выполняется с использованием метода сетевого планирования и управления. Это позволило выполнить работу в установленные учебным графиком сроки.

Исходные данные для расчета сетевой модели выполнения дипломной работы приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Перечень работ

Код работы	Наименование работы	Код события	Наименование события	Продолжительность, дней
		1	Получено задание	
1-2	Сбор информации по теме	2	Информация собрана	3
2-3	Изучение информации	3	Информация изучена	7
2-4	Комплектация разделов методических указаний	4	Разделы методических указаний скомплектованы	1
2-5	Определение содержания графической части	5	Содержание графической части определено	1
3-6	Оформление экономической части	6	Экономическая часть работы оформлена	3

Окончание таблицы 5.1

Код работы	Наименование работы	Код события	Наименование события	Продолжительность, дней
6-7	Оформление части БЖД	7	Раздел БЖД оформлен	1
7-8	Сбор материала для написания методических указаний	8	Методические указания написаны	2
4-9	Разработка модели	9	Модель разработана	2
9-10	Подготовка чертежей модели	10	Чертежи модели готовы	2
10-11	Изготовление модели	11	Модель изготовлена	2
11-12	Подготовка модели к испытанию	11	Испытания модели проведены	7
5-11	Оформление пояснительной записки	12	Подготовка методических указаний к рецензированию завершена	1
8-12	Подготовка пояснительной (записки к рецензированию)	12	Подготовка пояснительной записки к рецензированию завершена	1
12-13	Рецензирование дипломной работы	13	Рецензия получена	0,1
13-14	Защита дипломной работы	14	Дипломная работа защищена.	0,1

На основе исходных данных строим сетевой график и рассчитываем параметры сетевого графика табличным методом. Сетевой график выполнения дипломной работы представлен на рисунке 5.1

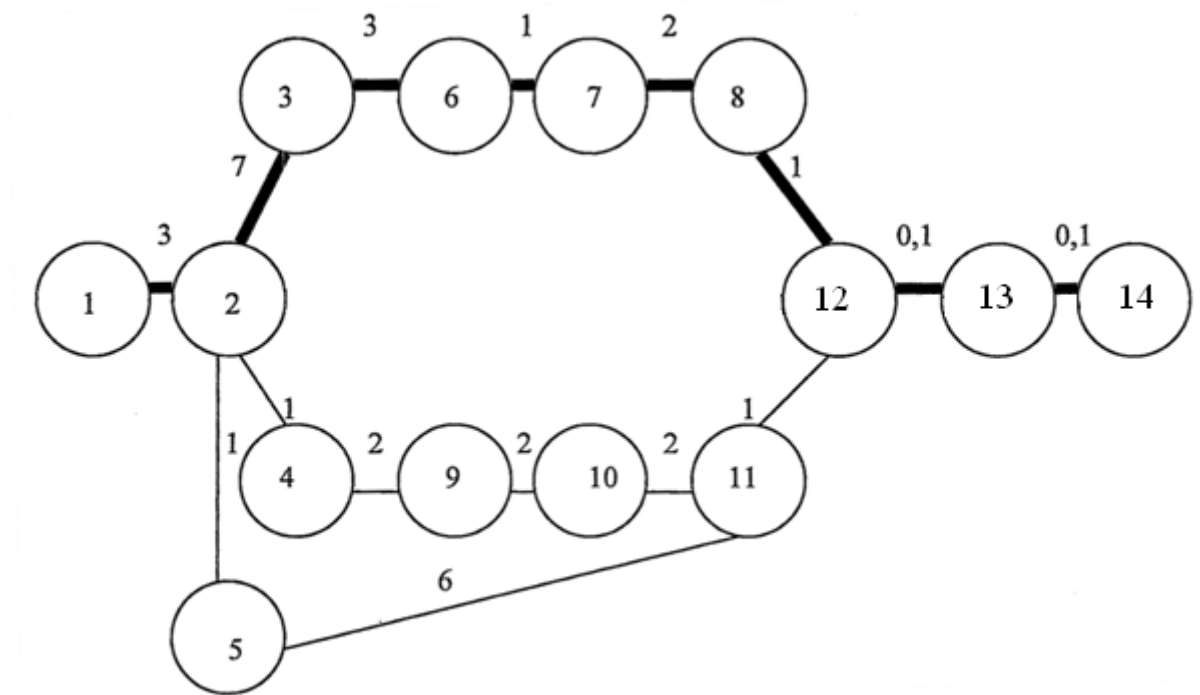


Рисунок 5.1 – Сетевой график выполнения дипломной работы.

Параметры сетевого графика выполнения дипломной работы представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Параметры сетевого графика выполнения дипломной работы

Предшествующее событие, i	Последующее событие, j	Продолжительность работы, t(ij)	Ранний срок начала работы, тр.н.(ij)	Раннее окончание работы, тр.о.(ij)	Поздний срок начала работы, tn.н.(ij)	Поздний срок окончания работы, tn.о.(ij)	Полный резерв времени работы, Rn.(ij)	Частный резерв времени работы, Ч ij
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	0	3	0	3	0	0
2	3	7	3	10	3	10	0	0
2	4	1	3	4	9	10	6	0
2	5	1	3	4	9	10	6	0
3	6	3	10	13	10	11	0	0
6	7	1	13	14	13	11	0	0
7	8	2	14	14	14	11	0	0
4	9	2	4	6	10	12	6	0
9	10	2	6	8	12	12	6	0
10	11	2	8	10	14	13	6	0

Окончание таблицы 5.2

Предшествующее событие, i	Последующее событие, j	Продолжительность работы, t(ij)	Ранний срок начала работы, тр.н.(ij)	Раннее окончание работы, тр.о.(Iij)	Поздний срок начала работы, tn.н.(ij)	Поздний срок окончания работы, tn.о.(ij)	Полный резерв времени работы, Rn.(ij)	Частный резерв времени работы, Ч ij
5	11	6	4	10	10	13	6	0
11	12	1	10	11	13	14	6	6
8	12	1	13	14	13	14	0	0
12	13	0.1	14	14.1	14	14.1	0	0
13	14	0.1	14.1	14.2	14.1	14.2	0	0

В таблице 5.2 приведен расчет параметров сетевого графика табличным методом,

где: i – предшествующее событие;

j – последующее событие;

t_{ij} – продолжительность работы;

t_{р.н.(ij)} – раннее начало работ;

t_{р.о.(ij)} – раннее окончание работ;

t_{п.н.(ij)} – позднее начало работ;

t_{п.о.(ij)} – позднее окончание работ;

R_{n (ij)} – полный резерв времени работ;

Ч_(ij) – частный резерв времени работ.

Для расчета полного и частного резервов времени работ используются следующие формулы:

$$R_{n (ij)} = t_{п.о.(ij)} - t_{р.о.(ij)}$$

$$Ч_{(ij)} = t_{р.н.(jh)} - t_{р.о.(ij)}$$

где t_{р.н.(jh)} – раннее начало последующей работы.

На сетевом графике (рисунок 5.1) три пути. Критический путь равен 14,2 недели и не имеет резерва времени.

L1: 1-2-3-6-7-8-12-13-14; $t = t_{L1} = 14,2$; $R_{L1} = 0$;
 L2: 1-2-4-9-10-11-12-13-14; $t_{L2} = 11,2$; $R_{L2} = 14,2 - 11,2 = 3$;
 L3: 1-2-5-11-12-13-14; $t_{L3} = 11,2$; $R_{L3} = 14,2 - 11,2 = 3$;

где: L1 - первый путь (критический); L2 - второй путь; L3 - третий путь; RL1, RL2, RL3 – резерв времени, соответственно первого, второго и третьего путей.

Для расчетов резервов времени событий необходимо определить ранние и поздние сроки наступления событий. Расчет ранних и поздних сроков свершения событий и резервов времени событий для сетевого графика, представлен в таблице 4.3.

Таблица 5.3 – Ранние и поздние сроки совершения событий и резервы времени.

Код событий	Ранний срок свершения i-го события	Поздний срок свершения i-го события	Резерв времени i-го события
1	0	0	0
2	3	3	0
3	10	10	0
4	4	10	6
5	4	10	6
6	13	13	0
7	14	14	0
8	13	13	0
9	6	12	6
10	8	14	6
11	10	13	6
12	14	14	0
13	14,1	14,1	0
14	14,2	14,2	0

При построении сетевого графика с использованием графического метода расчета параметров и резервов используем данные таблиц 5.2 и 5.3, график показан на рисунке 5.2.

Стоимость материальных ресурсов определяется на основе цен приобретения без НДС и количества израсходованных материальных средств. Фонд оплаты труда рассчитывается на основе среднечасовой оплаты труда, количества отработанных часов в расчетном периоде. Амортизационные отчисления определяют исходя из стоимости основных средств, нормы амортизации и количества месяцев в расчетном периоде.

Таблица 5.4 - Смета затрат на изготовление стенда «Физическая модель пылеподавления»

Экономические элементы затрат	Кол-во, шт.	Цена приобретения, руб. шт.	Всего
Материалы			
Оргстекло	2	1050	2100
Шпильки	3	47	141
Трубки алюминиевые	3	54	162
Герметик	1	185	185
Шланг	6 м	92	552
Хомуты (набор)	1	317	317
Лист металла 2000 x 1500	1	872	872
Армированный скотч	1	270	270
Сетка пластиковая	1	216	216
Гайки М6	1 уп	170	170
Шайбы	1 уп	160	160
Проводка гибкая	2	540	540

Продолжение таблицы 5.4

Экономические элементы затрат	Кол-во, шт.	Цена приобретения, руб. шт.	Всего
Тройник	1	150	150
Кран	1	210	210
Итого материалы:			6045
Инструменты:			
Ножницы по металлу	1	290	290
Набор сверл	1	472	472
Весы лабораторные	1	17100	17100
Итого инструменты:			17862
Прочие расходы	6%		1435
Итого затрат			25342

Расчет расходов на оплату труда руководителю дипломной работы, консультантам по экономике и БЖД.

Руководитель – доцент канд. техн. наук

Тарифная ставка: 13 разряд 350 руб\час.

Продолжительность консультаций - 20 часов.

Районный коэффициент – 30 %;

Северная надбавка – 30 %;

Отчисления в социальные фонды – 30 %

$350 \text{ рублей} \times 20 \text{ часов} \times 30 \% \times 30 \% \times 30 \% = 13300 \text{ рублей.}$

Консультации по экономике: доцент канд. техн. наук

Тарифная ставка: 13 разряд 350 руб\час

Продолжительность консультаций – 2 часа.

$350 \text{ рублей} \times 2 \text{ часов} \times 30 \% \times 30 \% \times 30 \% = 1330 \text{ рублей.}$

Консультации по БЖД: доцент канд. техн. наук

Тарифная ставка: 13 разряд 350 руб\час

Продолжительность консультаций – 2 часов.

$350 \text{ рублей} \times 2 \text{ часов} \times 30 \% \times 30 \% \times 30 \% = 1330 \text{ рублей.}$

Оплата труда изготовителя не производилась, поэтому в учет не берется. Итого затрат на изготовление стенда в денежном выражении 41302 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломной работы:

- а) определены основные параметры процесса пылеобразования и пылеподавления при автотранспортировании на карьерных дорогах,
- б) теоретическими расчетами обосновано применения более мелкие капель воды для пылеподавления с 1 мм до 0,3мм,
- в) с применением теории подобия рассчитана, разработана и смонтирована опытная модельная установка процесса пылеподавления,
- г) по результатам опытов получено математическое уравнение и пространственный рисунок, которые позволяют сделать ряд практических выводов. Главные из них:

— дисперсность распыляемой воды вместо 1 мм может быть снижена до 0,3...0,2 мм

— расход распыляемой воды вместо 0,0028 м³/кг (на 1кг пыли) может быть без ущерба эффективности снижена в 1,75...2,0 раза, что особенно актуально для индивидуального пылеподавления.

Отдельными разделами в пояснительной записке отражены вопросы Охраны окружающей среды и экономической части.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Перев.С. немецкого. Главная реакция физико- математическая литература издание «Наука, Москва, 1969. 742с.
2. Пажи Д.Г. Галустов В.С. Основы техники распыления жидкостей. – М.: Химия, 1984. 256с.
3. Валиев Н.Г. Симисинов Д.И. , Кошкаров В.Е. Ахметов А.Ф. Эмульсионные профилактические средства из тяжелых нефтяных остатков для обеспечения карьерных автодорог и отвалов техногенных отходов. Известие вузов. Горный журнал, №8, 2015.
4. Кошкаров В.Е., Валиев Г.Н. Опыт и перспективы применения битумных эмульсий при строительстве и эксплуатации карьерных дорог. Известия вузов. Горный журнал, №5, 2011.
5. Юрченко А.А. Обоснование степени диспергирования воды при орошении облака железорудной пыли после массовых взрывов в карьерах.
6. Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Издательство пятое, стереотип. М, 1955: ГИТТЛ,1955. 607с.
7. Сиднеев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализа статистических данных: учебные пособие/ Н.И. Сиднеев.- М: Изд-во Юрайт, 2011-399с. – Серия магистр
8. Борисов Ф.И., Талдыкин Ю.А. Обработка опытных данных: практикум.-Красноярск, изд. ГАЦМиЗ, 1998-80с.
9. Кокорин В.С. Организация эксперимента: Учеб. Пособие. – Красноярск, изд. КИЦМ, 1987-68с
10. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: «Статистика», 1974
11. Патент №2572100 E21F 5/04 (Ru) Способ Предупреждение и подавления пылевых выбросов в карьере / Морин А.С., Борисов Ф.И., Бровина Т.А., Демченко И.И., - № 2014151813/03; заявл. 19.12.2014; опубл. 27.12.2015 Бюл. №36
12. Кудашкин Д.А. Разработка системы индивидуального пылеподавления карьерных автосамосвалов. Выпускная квалификационная работа / Руков. Ф.И. Борисов – Красноярск, СФУ, ИГДГиГ, 2017-105с
13. Геоэкология, Оценка пылегазовых выбросов в атмосферу, 2011г.,

- [В Интернете] <http://www.dissercat.com/content/otsenka-pylegazovykh-vybrosov-v-atmosferu-ugolnymi-shakhtami-i-sovershenstvovanie-otraslevoi> [Дата обращения: 2 декабря 2017]
14. Наука о земле, Оценка пылевой нагрузки на окружающую среду основных технологических процессов на горном производстве, [В Интернете] <https://cyberleninka.ru/article/v/otsenka-pylevoy-nagruzki-na-okruzhayuschuyu-sredu-osnovnyh-tehnologicheskikh-protsessov-pri-dobyche-buryh-ugley-na-razreze-mugunskiy> [Дата обращения: 4 декабря 2017]
15. Способы и средства борьбы с пылью на горных предприятиях, 2007г <https://bibliofond.ru/view.aspx?id=37222> [Дата обращения: 4 декабря 2017]
16. Руководство по борьбе с пылью на угольных и сланцевых разрезах, 25 марта 1990 г, [В Интернете] <http://docs.cntd.ru/document/1200093007> [Дата обращения: 9 декабря 2017]
17. Ушаков К. З., Михайлов В. А. Аэрология карьеров. М., «Недра», 1975, 248 с. 3. [В Интернете] http://konchilik.ru/text/2_2008_024 [Дата обращения: 4 декабря 2017]
18. Папоян. Р.Л Оборудование для охраны атмосферного воздуха от промышленной пыли [В Интернете] <https://books.google.ru/books?id/> [Дата обращения: 16 декабря 2017]